









ARCHIV

FÜR

ANATOMIE UND PHYSIOLOGIE.

Fortsetzung des von REIL, REIL u. AUTENRIETH, J. F. MECKEL, JOH. MÜLLER, REICHERT u. DU BOIS-REYMOND herausgegebenen Archives.

HERAUSGEGEBEN

VON

Dr. WILH. HIS und Dr. WILH. BRAUNE,
PROFESSOREN DER ANATOMIE AN DER UNIVERSITÄT LEIPZIG,

UND

Dr. EMIL DU BOIS-REYMOND,
PROFESSOR DER PHYSIOLOGIE AN DER UNIVERSITÄT BERLIN.

JAHRGANG 1879.

SUPPLEMENT-BAND

ZUR

PHYSIOLOGISCHEN ABTHEILUNG.

LEIPZIG,
VERLAG VON VEIT & COMP.
1879.

ARCHIV

FÜR

PHYSIOLOGIE.

PHYSIOLOGISCHE ABTHEILUNG DES
ARCHIVES FÜR ANATOMIE UND PHYSIOLOGIE.

UNTER MITWIRKUNG MEHRERER GELEHRTEN

HERAUSGEGEBEN

VON

DR. EMIL DU BOIS-REYMOND,
PROFESSOR DER PHYSIOLOGIE AN DER UNIVERSITÄT BERLIN.

JAHRGANG 1879.

SUPPLEMENT-BAND.

MIT 19 ABBILDUNGEN IM TEXT.

LEIPZIG,
VERLAG VON VEIT & COMP.
1879.

Druck von Metzger & Wittig in Leipzig.

Inhalt.



Ueber die Abhängigkeit der Reactionszeiten vom Ort des Reizes.

Von

G. S. Hall und **J. v. Kries.**

Aus der physiologischen Anstalt zu Leipzig.

Die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Erregung in sensibeln Nerven ist wiederholt in der Weise bestimmt worden, dass der Unterschied der Reactionszeiten bei Reizung verschieden weit vom Centrum entfernter Hautstellen als Maass derselben betrachtet wurde. Die Correctheit dieser Methode hängt, wie bekannt, von der Zulässigkeit der Annahme ab, dass derjenige Theil der Reactionszeit, welcher nicht auf Rechnung der Leitung im peripheren Nerven und in den langen Bahnen des Rückenmarkes, so wie auf Latenzzeit im percipirenden Sinnesorgan und reagirenden Muskel kommt, die reducirte Reactionszeit, in allen Fällen dieselbe sei. In zahlreichen älteren, diesem Gegenstande gewidmeten Untersuchungen ist diese Annahme in der Regel, theils stillschweigend, theils ausdrücklich, gemacht worden. Die hiernach gewonnenen Werthe waren aber wenig befriedigend. Sie schwankten von 26^{m} pro Sec. (Schelske) bis zu 225^{m} (Kohlrausch) also fast im Verhältniss 1:9.

Donders[1] stellte zuerst auf Grund einer Vergleichung der so bestimmten sensibeln Leitungsgeschwindigkeit mit der unter Ausschluss des Centralorgans bestimmten motorischen die Behauptung auf, dass die erwähnte Voraussetzung unzulässig sei. „Durch diese directen Bestimmungen,“[2] sagt Donders a. a. O. S. 662, „sind nun alle Versuche an Gefühlsnerven, bei welchen die Hirnthätigkeit mit eingeschlossen war,

[1] Die Schnelligkeit psychischer Processe. *Dies Archiv.* 1868.

[2] Die von Helmholtz und Baxt im Jahre 1867 mitgetheilten.

in's Gebiet der Geschichte verwiesen, und man weiss, was dies sagen will. Wittich würde gern noch seiner etwas grösser gefundenen Schnelligkeit für die Gefühlsnerven einige Geltung lassen. Aber es geht nicht; die Uebereinstimmung zwischen Gefühls- und Bewegungsnerven ist in allen Hinsichten zu vollkommen, um zu erlauben, dass gegenüber den sicheren Bestimmungen bei diesen die nach unsicheren Methoden gefundene Leitungsgeschwindigkeit für jene aufrecht erhalten werde."

Die Frage hätte hiermit für erledigt gelten können. Indessen theilten im Jahre 1870 Helmholtz und Baxt neue Bestimmungen am motorischen Nerven mit, welche die grosse Abhängigkeit der Leitungsgeschwindigkeit von der Temperatur zeigten und somit die Donders'schen Aussprüche als weniger sicher begründet erscheinen liessen. In der That sind nun auch mehrere Forscher seitdem wieder von der alten Voraussetzung ausgegangen. Namentlich hat Exner unter Zugrundelegung derselben [1] die Geschwindigkeit der sensibeln und motorischen Leitung im Rückenmark bestimmt. Bloch und Garver fanden die Bestimmung von Leitungsgeschwindigkeiten auf diesem Wege unmöglich. Richet [2] hat in neuester Zeit wieder die Unabhängigkeit der reducirten Reactionszeiten als selbstverständliche Voraussetzung betrachtet. (S. d. Anm. am Schlusse d. Arbeit.)

Für eine weitere Untersuchung dieser Frage ergab sich nun eine doppelte Aufgabe: erstens eine nochmalige Prüfung der Frage, ob die reducirten Reactionszeiten wesentlich verschieden sind; und zweitens, die Bejahung dieser vorausgesetzt, etwas darüber in Erfahrung zu bringen, wovon diese Differenzen derselben abhängen, welche bisher nur als unbestimmbare Fehlerquelle angesehen worden sind. Da die von uns angestellte, nicht sehr ausgedehnte Reihe von Versuchen unsere Kenntnisse in dieser Beziehung immerhin ein wenig erweitert, so glauben wir sie der Veröffentlichung nicht vorenthalten zu sollen.

Wir haben nicht nur, wie die früheren Untersucher, mit Hautreizen, sondern auch mit optischen Reizen experimentirt. Die Methode unserer Versuche wollen wir kurz beschreiben, trotz der vielen zum gleichen Zwecke schon verwandten Methoden, weil sie gerade in dieser Form einen sehr hohen Grad von Sicherheit und Bequemlichkeit erreicht hat.

Jeder Versuch wurde graphisch registrirt und zwar auf der Trommel eines Baltzar'schen Kymographions, welches auf seine grösste Geschwindigkeit gestellt war. Da die Geschwindigkeit der Trommel,

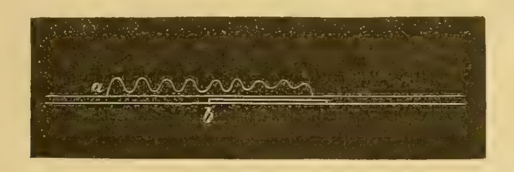
[1] Exner, Experimentelle Untersuchung der einfachsten psychischen Processe. Pflüger's *Archiv* u. s. w. Bd. VII, S. 634.

[2] Richet, *Revue philosophique.* T. VI, 1878, p. 395.

wenn man nicht besondere Vorsichtsmaassregeln anwendet, nicht als ganz constant angesehen werden darf, so benutzten wir zur Zeitschreibung noch eine Registrirstimmgabel von 29 Schwingungen in der Secunde.

1. Die Markirung des Reizes geschah folgendermaassen: Der eine Arm der Stimmgabel wird mittels eines Elektromagnetes aus seiner Gleichgewichtslage gezogen, berührt den Anker desselben und wird von ihm festgehalten. Der durch den Elektromagnet gehende Stromkreis mag der Unterbrechungskreis heissen; er kann mittels eines Schlüssels zu beliebiger Zeit von dem Beobachter geöffnet werden. Die Oeffnung des Schlüssels bewirkt also, dass die Stimmgabel vom Anker abreisst und zu schwingen beginnt. Die Berührung des Stimmgabelarmes mit dem Anker schliesst einen zweiten Stromkreis, welcher der Reizungskreis heissen mag; beim Abreissen der Stimmgabel vom Anker wird dieser unterbrochen. Derselbe ist entweder durch die primäre Rolle eines du Bois'schen Schlittens oder durch die eines Ruhmkorff'schen Inductionsapparates geführt. Es fällt also der Beginn der Stimmgabelschwingungen zeitlich zusammen mit dem Inductionsschlage oder Inductionsfunken, welche als Tast- oder Gesichtsreize dienen.

2. Die Reaction bestand in einem Fingerdruck, welcher mittels eines leicht beweglichen Hebels einen dritten Stromkreis, den Reactionskreis, unterbricht; die Unterbrechung wird durch einen kleinen Marey'schen Elektromagnet, dessen Schreibfeder unter derjenigen der Stimmgabel steht, ohne Zeitverlust markirt. Der Gang des Einzelversuchs ist also folgender: Oeffnung des Unterbrechungskreises, Oeffnung des Reizkreises, Reiz, Reaction, bestehend in Oeffnung des Reactionskreises. Das von einem solchen Versuche erhaltene Bild sieht so aus:



ab misst die Reactionszeit. Wenn der Beobachter den Unterbrechungskreis nur ganz kurze Zeit geöffnet lässt, so führt die Stimmgabel jedes Mal nicht viel mehr Schwingungen aus, als zur Zeitbestimmung der betreffenden Reaction erforderlich sind, weil sie alsbald wieder von dem Anker des Elektromagnetes festgehalten wird. Man kann dann ohne Verschiebung der Trommel eine Reihe von circa zehn Versuchen hintereinander machen. Die Methode gestattet also eine sehr schnelle Ausführung

von vielen Versuchen mit den denkbar einfachsten Manipulationen seitens des Beobachtenden und ohne geringste Störung des Reagirenden.

Die Messung der einzelnen Reactionszeit ist mit Leichtigkeit auf Zehntel der Stimmgabelschwingungen auszuführen. Diese Genauigkeit ist vollkommen ausreichend mit Rücksicht auf die Differenzen der Einzelwerthe.

Die Versuche wurden stets so angestellt, dass eine Reihe der einen Art zwischen zwei Reihen der anderen Art ausgeführt wurde; die Differenz zwischen jener und dem arithmetischen Mittel aus diesen beiden gab dann den gesuchten Werth. Der Einfluss der Ermüdung ist auf diese Weise möglichst eliminirt. Die auf solche Weise zusammengehörigen Reihen nennen wir eine Gruppe.

I.

Was die Intensität der als Tastreize benutzten Inductionsschläge anlangt, so machten wir sie ziemlich kräftig, ohne dass sie schmerzhaft waren. Es fällt übrigens hierbei auf, dass es eine durchaus unlösbare Aufgabe ist, die Schläge für zwei verschiedene Hautstellen „subjectiv gleich stark" zu machen. Z. B. kann man am Finger eine sehr starke Tastempfindung hervorbringen, die deswegen noch nicht schmerzhaft ist; am Oberarm ist dies gar nicht möglich. Man bekommt dort, schon ehe die Tastempfindung stark wird, eine stechende Empfindung, die am Finger vollständig fehlt. Den Reiz für zwei so verschiedene Stellen gleich zu machen ist daher deswegen unmöglich, weil die verschiedenen Qualitäten der Empfindung nicht in derselben Weise functionell unter einander verbunden sind. Uebrigens darf die Wichtigkeit dieses Punktes nicht überschätzt werden; denn die Abhängigkeit der Reactionszeit von der Reizstärke ist innerhalb ziemlich weiter Grenzen äusserst gering.[1]

Die folgenden Tabellen geben zunächst den Vergleich zwischen Reizung der Zeigefingerspitze und einer Stelle des Oberarms, welche etwa der Insertion des Deltoideus entsprach. Wir beschränken uns auf die Angabe der Resultate, welche in der eben erwähnten Weise aus jeder Gruppe hervorgegangen sind.

---

[1] S. v. Kries und Auerbach, Die Zeitdauer einfachster psychischer Processe. *Dies Archiv.* 1877. S. 357.

Tabelle I.

Gereizte Stellen: Spitze des Zeigefingers und Mitte des Oberarms.
Reactionszeit in Stimmgabelschwingungen = $^{1}/_{20}$ Sec.

	Reag. H.			Reag. K.		
	Arm.	Finger.	Differenz.	Arm.	Finger.	Differenz.
	4·85	4·81	— 0·04	3·94	3·86	— 0·08
	4·43	4·16	— 0·27	3·49	3·80	+ 0·31
	4·48	4·47	— 0·01	3·69	3·78	+ 0·09
	4·12	4·16	+ 0·04	3·77	3·73	— 0·04
	4·83	4·72	— 0·09	3·84	3·89	+ 0·05
	4·10	4·05	— 0·05	3·76	3·76	0·0
	4·12	4·03	— 0·09	3·84	3·56	— 0·28
	4·13	4·03	— 0·10	3·52	3·78	+ 0·26
	4·32	4·22	— 0·10	3·47	3·67	+ 0·20
	4·41	4·19	— 0·22	3·37	3·72	+ 0·35
	4·63	4·24	— 0·39	3·46	3·60	+ 0·14
	4·37	4·21	— 0·15	3·49	3·61	+ 0·12
Durchschnitt	4·40	4·27	— 0·13	3·64	3·74	+ 0·10
In Sec.	0·152	0·147	— 0·005	0·126	0·129	+ 0·003

Wenn wir den Abstand der beiden Hautstellen zu 65 ^{cm} annehmen und für die Leitungsgeschwindigkeit die schon sehr hohe Zahl von 60 ^{m}, so müsste man eine Zeitdifferenz von + 0·011 Sec. erwarten. Im Gegensatze hierzu ergiebt die Differenz 0·003 bei K. eine Leitungsgeschwindigkeit von 214 ^{m}. Aber vollkommen entscheidend ist das Resultat, welches die Versuche von H. ergeben. Regelmässig ist die Reactionszeit vom Oberarm aus länger als vom Finger aus, trotz des kürzeren Leitungsweges. In den 12 Einzelwerthen, welche für die Differenz gefunden sind, ist nur ein einziger positiv. — Schwerlich wird Jemand geneigt sein, diesen Umstand immer noch auf die Leitungsgeschwindigkeiten zu beziehen. Man müsste zu diesem Zwecke die unwahrscheinlichsten Annahmen über die Abhängigkeit derselben von der Länge der durchlaufenen Strecke, ihre Verschiedenheit in verschiedenen Theilen der Nerven u. s. w. machen. Es kann vielmehr gar kein gegründeter Einwand gegen die nächstliegende Deutung erhoben werden, dass die reducirten Reactionszeiten von dem Ort der gereizten Stelle in erheblichem Maasse abhängen, so zwar, dass sie bei Reizung des Fingers kürzer sind als bei Reizung des Armes. Es muss diese Differenz im betrachteten Falle 0.011 + 0·005 = 0·016 Sec. betragen haben. Diese Differenz ist nicht einmal sehr bedeutend im Vergleich mit dem ganzen Betrage der

reducirten Reactionszeit. Denn nehmen wir die Länge der Leitung vom Finger zur Hirnrinde rund zu 1 m an, so erhalten wir eine Leitungszeit hin und zurück von 0·033 Sec., wenn wir 60 m als Geschwindigkeit annehmen. Rechnen wir dazu noch 0·010 Sec. als Latenzzeit im Muskel und subtrahiren 0·043 von der ganzen Reactionszeit 0·147, so bleiben für die reducirte noch 0·104. Der entsprechende Werth für den Oberarm beträgt 0·104 + 0·016, also nur um $^1/_6$—$^1/_7$ mehr.

Man kann es in gewissem Sinne als einen glücklichen Zufall betrachten, wenn bei dem Vergleich der Stellen die Differenz der reducirten Reactionszeiten so gross und in dem Sinne ist, dass die Differenz der Leitungszeiten dadurch übercompensirt wird. Obgleich wir noch eine Reihe anderer Stellen untersucht haben, fanden wir doch ein solches Verhältniss nicht wieder. Aber es ist auch ein einzelner Fall schon ausreichend, um das Vorhandensein von Unterschieden in den reducirten Reactionszeiten zu constatiren.

Bei einer Vergleichung der Reactionszeiten vom Finger und Nacken erhielten wir als Mittelwerth aus 7 Gruppen:

H.			K.		
Finger.	Nacken.	Differenz.	Finger.	Nacken.	Differenz.
0·150	0·142	0·008	0·126	0·120	0·006

Der Unterschied in den reducirten Reactionszeiten ist hier nur in der Weise wirksam, dass er die aus den Leitungsbahnen resultirende Differenz vermindert. Man würde daher bei einer Berechnung der Leitungsgeschwindigkeit zu hohe Werthe erhalten (120 und 150 m).

II.

Bei der Untersuchung des Auges fanden wir ganz ähnliche Verhältnisse, nur erheblich prägnanter. Es handelte sich hier um eine Vergleichung der Reactionszeiten bei direct und indirect gesehenem Lichtsignal. Wir benutzten nicht den durch Luft überschlagenden Inductionsfunken, sondern liessen den Schlag sich durch eine kleine Geissler'sche Röhre entladen. Es hatte das zwei Vortheile: erstens grössere Intensität der Lichterscheinung, und zweitens Geräuschlosigkeit derselben. (Bekanntlich darf das Lichtsignal nicht gleichzeitig ein akustisches sein.) Dem Kopfe des Reagirenden wurde durch einen einfachen Halter eine constante Stellung gesichert (Drehungen jedoch gestattet), und während

das Lichtsignal ebenfalls an derselben Stelle blieb, konnte das Auge auf verschiedene Visirzeichen gerichtet werden, so dass die Lichterscheinung bald im Fixationspunkte, bald in verschiedenen Stellen der Gesichtsfeldperipherie erschien. Es wurde immer nur das eine Auge benutzt, das andere geschlossen gehalten.

Auch hier hätte können die Forderung gestellt werden, die Reize für die verschiedenen Theile der Netzhaut gleich stark zu machen. Da indessen die Frage, wie sich in dieser Beziehung die verschiedenen Theile der Netzhaut verhalten, keineswegs sicher beantwortet ist, so zogen wir es vor, einfach denselben Reiz auf alle Theile wirken zu lassen. Wie sich sofort zeigen wird, sind übrigens die Resultate, welche wir erhielten, so deutliche, dass sie selbst durch erhebliche Variationen der Intensitäten nicht wären beeinflusst worden.

Wir bezeichnen im Folgenden die Reihen nach der Stelle des Gesichtsfeldes, in welcher das Lichtsignal erschien; es bedeutet also z. B. „Aussen", dass dasselbe in der temporalen Gesichtsfeldhälfte sich befand, demnach die mediale Netzhaut traf. Auch hier waren die Versuchsreihen immer der Art zu Gruppen geordnet, dass die Ermüdung ausgeschlossen werden konnte, z. B.

1) Aussen, 2) Innen, 3) Aussen, zum Vergleich dieser beiden Gesichtsfeldstellen; oder

1) direct, 2) aussen, 3) innen, 4) aussen, 5) direct, wo dann 3) verglichen wird mit dem Mittelwerth von 1) und 5) und 2) und 4). Hiernach sind die im Folgenden gegebenen Mittelwerthe zu beurtheilen.

Tabelle II.

Vergleich der Reactionszeiten bei directem und indirectem Erblicken des Lichtsignals. Die Stellen des indirecten Sehens sind 30° vom Fixationspunkt entfernt. Die Zahlen bedeuten Stimmgabelschwingungen von $^1/_{29}$ Sec.

Reag. H.

	Direct.	Aussen.	Innen.	Direct.	Unten.	Oben.
	6·33	7·43	7·60	6·18	6·76	8·30
	5·66	6·63	7·15	5·91	6·52	7·85
	6·15	7·24	7·41	6·37	6·99	8·11
	6·58	6·71	7·83	6·51	7·67	8·10
	7·07	8·35	790	7·24	8·04	9·27
Durchschnitt	6·36	7·11	7·58	6·44	7·20	8·33
In Sec.	0·219	0·245	0·261	0·222	0·248	0·287

Reag. K.

	Direct.	Aussen.	Innen.	Direct.	Unten.	Oben.
	4·80	5·38	5·45	4·64	5·07	6·00
	5·17	5·66	5·90	5·08	5·70	6·51
	4·66	5·16	5·33	4·79	5·51	6·11
	4·85	5·33	5·88	5·66	5·49	6.22
	5·22	5·58	5·64	5·13	5·40	6·17
	4·92	5·19	5·83	4·99	5·18	6·45
Durchschnitt	4·94	5·38	5·67	4·95	5·39	6·24
In Sec.	0·170	0·186	0·196	0·171	0·186	0·215

Tabelle III.

Vergleich der Reactionszeiten bei directem und indirectem Erblicken des Lichtsignals. Die Stellen des indirecten Sehens sind 60° vom Fixationspunkt entfernt. Die Zahlen bedeuten Stimmgabelschwingungen von $^1/_{29}$ Sec.

Reag. H.

	Unten.	Oben.	Differenz.	Aussen.	Innen.	Differenz.
	8·08	9·04	0·96	8·40	7·72	0·32
	7·48	8·33	0·85	7·89	8·72	0·83
	7·90	8·05	0·15	6·98	7·82	0·84
	7·05	8·30	1·25	7·69	8·08	0·39
				8·16	8·44	0·28
Durchschnitt	7.63	8·43	0·80	7·62	8·16	0·54
In Sec.	0·263	0·291	0·028	0·263	0·281	0·018

Reag. K.

	Unten.	Oben.	Differenz.	Aussen.	Innen.	Differenz.
	5·72	8·04	2·32	6·36	7·28	0·92
	5·24	7·10	1·86	6·14	6·78	9·64
	5·07	6·40	1·33			
Durchschnitt	0·34	7·18	1·84	6·25	7·03	0·78
In Sec.	0·184	0·248	0·064	0·216	0·277	0·061

Es geht aus diesen Tabellen mit voller Evidenz hervor, dass die Reactionszeiten bei indirectem Sehen grösser sind, als bei directem; aber es zeigt sich auch weiter noch, dass die Richtung, nach welcher wir uns um eine bestimmte Anzahl Grade vom Fixationspunkte entfernen, keines-

wegs gleichgiltig ist. Die Werthe für den unteren und äusseren Theil des Gesichtsfeldes sind einander nahezu gleich; stets aber ist der Werth für die mediale Hälfte grösser, als für die temporale, für die obere grösser, als für die untere. Diese sehr erheblichen Differenzen auf Leitungszeiten in den peripheren Nervenfasern zu beziehen, erscheint vielleicht nicht absolut unmöglich; bei weitem wahrscheinlicher aber ist jedenfalls auch hier die Vorstellung, dass die centralen Theile der Reactionszeiten je nach dem Orte der Reizung verschieden sind. Interessanter Weise finden wir hier eine sehr deutliche Beziehung zu den sonstigen functionellen Verschiedenheiten der Netzhautpartien. In der That wissen wir ja, dass die Functionsfähigkeit der Netzhaut in jeder Beziehung (Sehschärfe, Lichtsinn und Farbensinn) nach verschiedenen Richtungen vom Centrum hin verschieden schnell abnimmt, so dass bei gleichem Winkelabstande stets die temporale Gesichtsfeldhälfte der medialen gegenüber, die untere der oberen gegenüber bevorzugt erscheint. Man pflegt dies darauf zu beziehen, dass wir auf die untere Hälfte unseres Gesichtsfeldes mehr zu achten gewöhnt sind, als auf die obere und ebenso naturgemäss jedem Auge von den seitlichen Theilen des Gesichtsfeldes vorzugsweise die gleichseitigen (dem rechten die rechts-, dem linken die linksgelegenen) zur Beobachtung zufallen. Es dürfte nicht zu kühn sein, wenn wir auch die Reactionszeiten uns von der allgemeinen Einübung der einzelnen Netzhautstellen in ähnlicher Weise abhängig denken. Aus dem gleichen Gesichtspunkte erklärt sich leicht auch die besondere Kürze der Reactionszeiten bei Reizung der Fingerspitze. Indessen folgt hieraus noch nicht eine so enge Abhängigkeit zwischen Reactionszeit und Raumsinn, dass immer von den Stellen mit feinerem Raumsinn auch die kürzere (reducirte) Reactionszeit gefunden werden müsste. So fanden wir z. B. bei einer Vergleichung der Zungenspitze mit der Stirn als Mittelwerth aus acht Gruppen

K.		H.	
Stirn.	Zunge.	Stirn.	Zunge.
0·122	0·126	0·163	0.166

Es ist also die Reactionszeit von der Zunge aus noch etwas länger als von der Stirn, obwohl der Raumsinn nach Weber an der Zungenspitze etwa zwanzig Mal feiner ist, als an der Stirn und die Leitungszeiten für beide Stellen jedenfalls nur eine sehr geringe Differenz bedingen können. Zwischen der dorsalen und volaren Seite der letzten Phalange des Fingers vermochten wir keinen Unterschied zu constatiren.

Es soll daher keineswegs eine allgemein giltige einfache Abhängigkeit zwischen Empfindlichkeit und Reactionszeit behauptet, sondern nur die

unverkennbaren Beziehungen, welche sie unter Umständen zeigen, angedeutet werden.

Wenn die Einübung derjenigen Stelle, welche vom Reiz getroffen wird, auf die Reactionszeit von einem nicht zu vernachlässigenden Einfluss ist, so werden wir erwarten dürfen, dass auch die Art der Reaction nicht gleichgiltig ist, sondern mit manchen Bewegungen, welche wir mit Präcision unter der Herrschaft des Willens auszuführen gewohnt sind, schneller, als mit andersbeschaffenen geantwortet wird. Hiernach würde die Bestimmung der motorischen Leitungsgeschwindigkeiten aus den Reactionszeiten denselben gegründeten Einwürfen unterliegen, wie die der sensibeln. Wenn wir erwägen, dass die Bestimmung der sensiblen und motorischen Leitung in die Bahnen des Rückenmarks auf einem Vergleich der Reactionszeiten bei Reizung der oberen und der unteren Extremität oder bei Reaction mit der einen und der anderen beruht, so finden wir, dass die gefundenen Verhältnisse besonders geeignet sind, uns die Leitung im Rückenmarke langsamer erscheinen zu lassen als sie ist; denn es wird ein grosser Theil der Verzögerung, welche bei Benutzung der unteren Extremität sich herausstellt, irrthümlich auf Rechnung der Rückenmarksleitung geschrieben.

Die Resultate des Mitgetheilten können wir dahin zusammenfassen, dass die reducirten Reactionszeiten je nach der Stelle, welche der Reiz trifft, nicht unerheblich verschieden sind und beim Auge diese Unterschiede sich ganz deutlich denen der sonstigen Functionstüchtigkeit der verschiedenen Netzhauttheile anschliessen; dass die Reactionsmethode zur Bestimmung der sensibeln uud motorischen Leitungsgeschwindigkeit nicht brauchbar ist, und daher die Leitungsgeschwindigkeit in den langen Bahnen des Rückenmarks zur Zeit unbekannt ist.

Anm. Bei Berücksichtigung der Verschiedenheiten der reducirten Reactionszeiten erledigt sich ein Bedenken von selbst, welches Richet (l. c.) bei Besprechung der von Auerbach und mir herrührenden Arbeit geltend gemacht hat. Er fragt nämlich, ob Werthe von der Ordnung unserer Unterscheidungszeiten (1—6 Hundertheile einer Secunde) nicht in die Grenzen der Versuchsfehler fallen; er hält dies sogar für wahrscheinlich auf Grund eigener Versuche. Diese Versuche haben nun aber darin bestanden, die sensible Leitungsgeschwindigkeit mittels der Reactionsmethode zu bestimmen, was ihm nicht gelang. Richet hat hierbei, wie aus seinen Worten deutlich hervorgeht, die Möglichkeit eines Unterschiedes in den reducirten Reactionszeiten völlig ignorirt. Auf diesen letzteren Umstand und nicht auf die geringe Genauigkeit der Versuche muss daher wohl das Scheitern seiner Bemühungen bezogen werden. Kr.

Die willkürliche Muskelaction.

Von

Hugo Kronecker und **G. Stanley Hall.**

Aus dem physiologischen Institute zu Berlin.

Alle willkürlichen Acte werden nicht unmittelbar, sondern durch Vermittelung des Rückenmarks auf die Muskeln übertragen. Auch nach Flechsig's Untersuchungen [1] sind den motorischen Bahnen, auf welchen die Willensimpulse vom Grosshirn zu den Muskeln verlaufen, mindestens in den Vorderhörnern Ganglienzellen eingefügt. Wir können daher unsere Muskeln nicht in so directer Weise innerviren, wie es elektrische Reize, den motorischen Nerven applicirt, vermögen. Wir haben keine Macht, die Frequenz der dem Muskel durch seine motorischen Nerven zugeführten, vom Willen im Rückenmarke ausgelösten Reize wesentlich zu ändern. Der natürliche Muskelton hat immer ungefähr gleiche Höhe. Ebensowenig sind wir im Stande, den willkürlichen Impulsen auch nur annähernd die Intensität maximaler Nerven- oder Muskelreize zu geben. [2] Ein in Bewegung gesetztes System von Ganglienzellen giebt die empfangene Erregung nicht in unveränderter Form wieder. Beweise dafür liefern z. B. die coordinirten Reflexe. — Die Schwingungen, in welche die Gangliencentren vom Willenscentrum her versetzt werden, wirken auch nach der Peripherie in rhythmisch wiederkehrender Folge.

Die Reize, welche den motorischen Nerven treffen, werden, wie

---

[1] *Die Leitungsbahnen im Gehirn und Rückenmark des Menschen,* Leipzig 1876, und *Ueber Systemerkrankungen im Rückenmark.* Leipzig 1878. S. 25 u. a.

[2] H. Kronecker, Ueber Ermüdung und Erholung quergestreifter Muskeln. *Arbeiten aus der physiol. Anstalt zu Leipzig.* 1871. S. 264.

Helmholtz[1] gezeigt hat, vom zugehörigen Muskel ihrer Folge nach genau wiedergegeben, etwa ebenso wie eine Telephonplatte die in der zugehörigen Rolle kreisenden Stromstösse anzeigt, derart, dass im Muskeltone Timbreeigenthümlichkeiten der schwingenden Feder eines den Kaninchenischiadicus kräftig reizenden Schlitteninductoriums hörbar werden. Es mag dies so zu Stande kommen, dass die im Ganzen und mit relativ fixen Knoten schwingende Feder ausser den starken Contacten, die mit den Wellenbergen des Grundtons isochron sind, auch noch schwächere, Obertönen entsprechende, veranlasst.

Es darf also aus dem sogen. natürlichen Muskeltone, wie er durch willkürliche Erregung, und nach der Beobachtung von E. du Bois-Reymond[2] durch elektrische Reizung des Kaninchenrückenmarkes erzeugt werden kann, auf die Anzahl der vom Rückenmarke den motorischen Nerven zugeführten Reize geschlossen werden. Durch Beobachtungen consonirender Federn von bekannter Schwingungsdauer hat Helmholtz (1866) die Frequenz dieser Reize zu 18—20 in der Secunde bestimmt.

Gegenüber den „neuerdings vielfach ausgesprochenen Zweifeln, dass die natürliche Contraction wirklich discontinuirlicher Natur sei,“[3] erscheint es wünschenswerth, die Vibrationen des durch Vermittelung des Rückenmarkes gereizten Muskels objectiv darzustellen. Dies ist uns mit Hülfe einer höchst einfachen Vorrichtung gelungen, der wir die in folgender Figur (S. 3) abgebildete Zeichnung verdanken.

Der einfache, leicht zu improvisirende Versuch wurde in folgender Weise ausgeführt. Dem Kaninchen wurde die Medulla oblongata oberhalb des Athmungscentrums durchtrennt (um unnöthigen Schmerz und willkürliche Bewegung auszuschliessen), sodann wurden unterhalb desselben Nadelelektroden beiderseits dicht neben dem Rückenmarke eingestochen. Quer über den blossgelegten Musculus biceps femoris, welcher nahe der schnell rotirenden Trommel eines Cylinderkymographions von Baltzar'scher Construction fixirt war, wurde der Schreibhebel einer Marey'schen Luftkapsel nahe seinem Drehpunkte leicht gelagert, der Schenkel am Halter gut befestigt. Eine am Ende des Hebels angebrachte feine Glasfeder schrieb mit verschwindender Reibung auf der berussten Glanzpapierfläche

---

[1] *Monatsbericht der Berliner Akademie* vom 23. Mai 1864. — *Verhandl. des naturhistor. medicin. Vereins zu Heidelberg.* 1866. Bd. IV, S. 88.

[2] *Monatsbericht der Berliner Akademie.* 1859. S. 318. — *Gesammelte Abhandlungen,* Bd. II, S. 30.

[3] L. Hermann, Allgemeine Muskelphysik im *Handbuch der Physiologie.* Leipzig 1879. Bd. I, S. 51.

des Cylinders. Nunmehr wurden Wechselinductionsströme von der secundären Spirale eines du Bois-Reymond'schen Schlitteninductoriums mit schnell schwingendem Hammer dem Rückenmarke zugeführt. So wurde die unterste der in Fig. 1 abgebildeten Wellenlinien gewonnen. Zugleich markirte ein Chronograph $^1/_{100}{}''$, welche ganzen Wellenlängen der mittleren Linie entsprachen. Die obere Linie wurde gewonnen, als anstatt des Rückenmarkes der Nervus ischiadicus direct gereizt wurde.

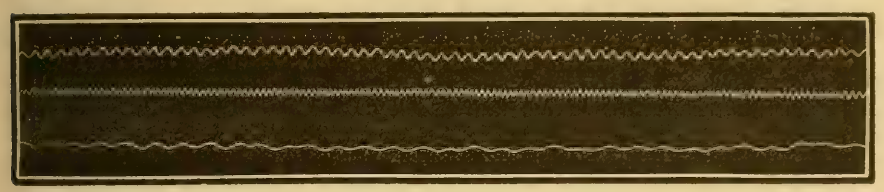


Fig. 1.

Vibrationen des M. biceps femoris vom Kaninchen. Reiz 42 Oeffnungsschläge pro Secunde:
1. dem oberen Ende des vom verlängerten Mark abgelösten Rückenmarkes applicirt (unterste Curve),
2. dem Ischiadicusnerven applicirt (oberste Curve). —
Die mittlere Linie markirt $^1/_{100}$ Secunden.

Diese Curven zeigen, dass ein durch Vermittelung des Rückenmarks tetanisirter Muskel ungefähr 20 nicht sehr gleichmässige Schwingungen pro Secunde ausführt, während vom motorischen Nerven aus recht regelmässige und deutliche Vibrationen, gleicher Frequenz (etwa 43 pro Sec.) wie die wirksamen Reize, gewonnen wurden. Zur Controle haben wir später den schwingenden Hammer selbst auf der rotirenden Trommel zeichnen lassen und mit den Muskelvibrationen übereinstimmende Frequenzen gefunden. Man könnte nun aus dem Umstande, dass die Rückenmarkstetanuscurve ziemlich genau halb so viel Wellen aufweist, als die bei Nervenreiz erhaltene Tetanuscurve, den Verdacht schöpfen: es seien von den Rückenmarkselektroden ausgehende Stromschleifen der wirksamen Oeffnungsinductionsschläge im ersten Falle directe Nervenerreger, während die dem Nerven direct applicirten Elektroden Oeffnungen und Schliessungen zur Geltung kommen lassen. Eine einfache Betrachtung widerlegt diesen Einwand gegen die Beweiskraft des Experiments. Wenn die Vibrationsfrequenz bei Nervenreizung durch Oeffnungs- und Schliessungsinductionsschläge verursacht wäre, so müsste der den Reiz auslösende Hammer nur 43 halbe Schwingungen ausgeführt haben, denn jedes Anlegen des Hammers an den Contactstift bewirkt eine Schliessungsinduction, jedes Losreissen zum Magnet herab einen Oeffnungsinductionsstrom. Nun vermochte aber der Hammer unseres Apparates nicht mit weniger als 35 ganzen Schwingungen in regelmässiger Bewegung zu bleiben,

während die höchste erreichbare Frequenz etwa 55 Vibrationen betrug.[1] Es hätten aber nur 21 bis 22 ganze Schwingungen den angenommenen Effect haben können. Es sind also die Wellen des Rückenmarkstetanus nicht durch Stromschleifen, die zum motorischen Nerven vorgedrungen sind, zu erklären, sondern durch die prästabilirte Reizfrequenz der irgendwie erregten Rückenmarkscentren. Bei unserer peripheren Nervenreizung sind demnach nur die Oeffnungsinductionsströme wirksam gewesen. Dies scheint den meisten Beobachtern des Muskeltons begegnet zu sein, denn fast alle geben den durch directe Reizung gewonnenen Muskelton als gleichhoch mit der klingenden Reizquelle an. Nur Helmholtz erwähnt schon in seiner ersten Mittheilung über diesen Gegenstand (1864 a. a. O.), dass er auf Reiz mittels einer Stimmgabel von 120 Schwingungen im gereizten Muskel „verhältnissmässig stark auch den Ton von 240 Schwingungen, die höhere Octave des Tones der Gabel hörte, welcher durch die gleichzeitig wirkenden 120 Oeffnungsschläge und die etwas schwächeren 120 Schliessungsschläge hervorgerufen zu sein schien.“ In dieser selbigen Mittheilung weist Helmholtz auch die Annahme zurück, „dass etwa der elektrische Strom den gespannten Muskel direct, wie einen gespannten Draht in Erschütterung setzte. „Um auch diese Möglichkeit auszuschliessen, liess ich,“ fährt Helmholtz[2] fort, „endlich den Strom durch den Nervus medianus am Oberarm gehen und schwächte seine Stärke so, dass er direct auf die Muskeln applicirt, diese nicht in Zusammenziehung brachte. Sowie der Strom den Nerven kräftig genug traf, dass starke Contractionen der Vorderarmmuskeln entstanden, hörte ich aus diesen den Ton der stromunterbrechenden Feder deutlich heraustönen. Wenn ich dagegen die Elektroden am Oberarm ganz wenig zur Seite schob, dass die Wirkung auf die Vordermuskeln aufhörte, so verschwand auch der Ton . . . . Diese Versuche scheinen mir erstens jeden Zweifel an der Existenz eines eigenthümlichen, von dem Zustande der Contraction abhängigen Muskelgeräusches und jede Erklärung desselben aus einer Reibung des Muskels an den umliegenden Theilen oder dieser an einander zu beseitigen.“ Nachdem die Untersuchungen von Helmholtz über den Muskelton die früher von du Bois-Reymond[3] gegebenen Beweise für die Unstetigkeit jedes Tetanus bekräftigt hatten, waren aus dem merkwürdigen Umstande, dass von den durch Vermit-

[1] Auch Helmholtz hat in der oben citirten Abhandlung „Ueber den Muskelton“ die Schwingungszahl der Feder gewöhnlicher Inductionsapparate zu 40—60 pro Secunde bestimmt.

[2] Hermann (*Handbuch d. Physiol.* Bd. I, S. 52) hat diesen Beweis nochmals geführt.

[3] *Dies Archiv* 1875, S. 637 und *Gesammelte Abhandl.* Bd. II, S. 506 u. 507.

telung des Rückenmarks tetanisirten Muskeln kein deutlicher secundärer Tetanus zu gewinnen war, Zweifel gegen die principielle Identität der Vorgänge im Muskel bei natürlicher und bei künstlicher Reizung desselben erhoben worden.[1] Brücke[2] hat diese Erscheinung durch die Annahme erklärt, dass bei der natürlichen Erregung die einzelnen Fasern nicht gleichzeitig nach Art von Salven, sondern nach Art eines Pelotonfeuers ihre Reizstösse empfangen und Kühne[3] hat jüngst Eigenthümlichkeiten im anatomischen Verhalten der Nervenendfasern im Muskel entdeckt, welche für die Kenntniss der natürlichen Muskelerregung bedeutungsvoll zu werden versprechen. Danach „können in den nirgends fehlenden gleichgerichteten Parallelfasern keine Wellen ohne Phasendifferenz neben einander fortschreiten.“ Wir haben weitere Aufschlüsse von den in Aussicht stehenden eingehenden Arbeiten über diesen Gegenstand aus dem Heidelberger physiologischen Institute zu erwarten.[4]

Für unseren Zweck genügt es, objectiv nachgewiesen zu haben, dass eine von der Frequenz der dem Rückenmarke zugeführten Reize und von der Masse und Art des schwingenden Muskels[5] unabhängige bestimmte Anzahl von Stössen den Muskel in Erschütterungen versetzt. Auch viel häufigere Erschütterungen des künstlich erregten Muskels können unzweifelhaft durch feine Schreibmittel getreu objectiv dargestellt werden. Es hat der Eine von uns schon a. a. O.[6] die durch Ranvier vom weissen Kaninchenmuskel erhaltenen 357 Curvenzacken pro Secunde als gezeichnete Muskeltonvibrationen gedeutet und ausdrücklich hervorgehoben dass wir „weit entfernt seien“ dem „mit den vorzüglichen Messwerkzeugen des Hrn. Marey ausgerüsteten Forscher“ Irrthümer in der Bestimmung der Reizfrequenz zuzumuthen. Es war dies schon um deswillen hier nicht möglich, weil ja die Reizfrequenz nicht aus der Schwingungszahl des Stromunterbrechers, sondern aus der Vibrationsfrequenz des gereizten Muskels, also der Zahl der wirksamen Reize geschlossen

---

[1] Die wesentlichen Angaben hierüber finden sich in der citirten Arbeit „Die Genesis des Tetanus“ S. 20 ff. zusammengestellt.

[2] *Sitzungsber. der Wiener Akademie.* 1877. Bd. 75, Abth. III, S. 28 u. 29.

[3] W. Kühne, Ueber das Verhältniss des Muskels zum Nerven. (Im Auszuge mitgetheilt. F.) *Verhandlungen des naturhistor. medicin. Vereins zu Heidelberg.* N. F. Bd. II, Heft 4.

[4] Nach Schluss des Druckes dieser Arbeit sind W. Kühne's *Untersuchungen aus dem physiol. Institut zu Heidelberg*, 1879, erschienen, worin, S. 65, die eben ausgeführte Ansicht ausführlicher erörtert ist.

[5] Diese schon oben erwähnte Eigenschaft des Muskels, ähnlich wie eine aperiodisch schwingende Telephonplatte, auf alle Anstösse zu reagiren, spricht gegen die Vermuthung von Brücke (a. a. O. S. 30), dass der Muskel gewissermaassen einen Eigenton habe.

[6] Die Genesis des Tetanus. A. a. O. S. 18.

worden ist. Wir hatten also nicht, wie Hermann im neuen Handbuche der Physiologie meint, die Ursache für die auffallenden Angaben Ranvier's in gewissen Mängeln seiner Versuche vermuthet. Dass aber die Verdickungswellen nicht als Merkmale unstetiger Verkürzung aufzufassen seien, dafür haben wir noch neue experimentelle Beweise zu den schon in der Genesis des Tetanus gegebenen gefügt.

Weder vom Kaninchen noch auch vom Frosche erhielten wir deutliche Zacken in den Krampfcurven, welche der an die Sehne befestigte Schreibhebel auf den Cylinder schrieb, mochte der Krampf durch willkürliche Antriebe des Thieres, durch reflectorische Reize, durch Strychninvergiftung oder durch elektrische Reizung des Rückenmarks ausgelöst sein. Nur wenn directe Nerven- oder Muskelreize in Intervallen von $^1/_{20}''$ oder weniger angewendet wurden, erschien die Tetanuscurve schwach gewellt. Es sind demgemäss 20 untermaximale Reize in der Secunde auch für den Warmblütermuskel gerade hinreichend, einen mässigen continuirlichen Verkürzungskrampf zu bewirken.

Nunmehr erhebt sich die Frage, ob der Wille, wenn er auch keine Macht über das Reizintervall hat, die Anzahl der vom Rückenmarke ausgehenden Reize beliebig, also auch bis zu einem einzigen mindern kann. Auch Brücke wirft (a. a. O. S. 31) die Frage auf: „Giebt es überhaupt willkürliche Bewegungen, welche durch einen einmaligen Impuls ausgelöst werden?“ S. 33 kommt er zu dem Schlusse: „Als unzweifelhaft kann man aber wohl annehmen, dass bei Entladungen, wie wir sie willkürlich vom Gehirne aus zu den Muskeln senden können, unter allen Umständen Addition stattfindet.“ Die Erfahrung, dass man willkürlich ruckweise Bewegungen ausführen kann, welche selbst kürzer dauern als einfache Muskelzuckungen, ist, wie a. a. O. angegeben, durch die unserem Willenscentrum gewohnheitsgemässe Befähigung erklärlich „den Willenstetanus des innervirten Muskels durch schnell darnach eingreifende Wirkung der Antagonisten abzuschneiden.“

N. Baxt hat in Gemeinschaft mit dem Einen von uns schon vor mehreren Jahren durch einige Versuchsreihen die Dauer einfachster Willensbewegungen bestimmt und, wie bereits an anderem Orte kurz mitgetheilt worden ist,[1] gefunden: „Dass eine willkürliche möglichst einfache Contraction (Anschlag mit einem Finger) ziemlich genau doppelt so lange Zeit, im Mittel, dauert als die gleiche durch einen einzelnen Inductionsschlag ausgelöste Bewegung.“ Um die Contractionsdauer zu bestimmen, drückte der Beobachtete, während eine seiner Hände einen als Stütze dienenden Halter umfassten, mit einem Finger dieser

[1] H. Kronecker und W. Stirling, Die Genesis des Tetanus. *Dies Archiv.* 1878. S. 23.

Hand die ohne Mühe biegsame Feder eines in der Elliot'schen Werkstatt trefflich gearbeiteten elektrischen Schlüssels vom oberen (einstellbaren) Contacte ab und auf den unteren fest, um sodann den ruhenden Finger von der Feder zum oberen Contacte zurückheben zu lassen. Der Schlüssel hielt einen Strom geschlossen, welcher nur während der Zeit unterbrochen wurde, wo die Feder vom oberen zum unteren Contacte oder in umgekehrter Richtung bewegt wurde. Ein Baltzar'scher elektromagnetischer Schreibapparat markirte Lösung und Verbindung des Contactes. Demzufolge gab jede Contractionsperiode 4 Zeiten: 1) Beginn des Druckes, 2) Moment der definitiven Hemmung, 3) Beendigung des Druckes, 4) Moment, in welchem die Ruhelage wieder erreicht ist. Es würden also die Zeiten von 1 bis 3 der Dauer der Zusammenziehung, 3 bis 4 der Erschlaffungszeit entsprechen. Baxt hat mit Hülfe dieses bei anderer Gelegenheit näher zu erörternden Verfahrens folgende bisher noch nicht mitgetheilte Werthe für die Dauer einfacher willkürlicher und einfacher künstlicher Contractionen der Finger erhalten:

I. An sich selbst:

A. Auf Willensreize

Von der rechten Hand (Mittel aus 37 Versuchen) für die 5 Finger . . . . 0·326″
Von der linken Hand (Mittel aus 42 Versuchen) . . . 0·302″
Vom Zeigefinger der rechten Hand (Mittel aus 15 Versuchen) . . . . 0·296″.

B. Auf Reizung durch einzelne Inductionsströme:

Vom Zeigefinger der rechten Hand (Mittel aus 29 Versuchen) . . . . 0·166″.

II. An Hrn. Prof. Yeo, der diese Versuche gütigst unterstützte,

A. Auf Willensreize:

Vom Zeigefinger der rechten Hand (Mittel aus 40 Versuchen) . . . . 0·222′.

B. Auf Reizung durch einzelne Inductionsströme:

Vom Zeigefinger der rechten Hand (Mittel aus 20 Versuchen) . . . . 0·122 .

Der Eine von uns (Hall) fand bei Wiederholung dieser Versuche (ohne vorherige Uebung im einfachen Anschlage) im Mittel aus 37 Messungen vom Zeigefinger der rechten Hand:

A. Auf Willensreize . . . . 0·31″.
B. Auf elektrische Einzelreize . . . . . . 0·21″.

Die Beschränkung, welche der Wille in seiner Macht ertragen muss, indem er diesen Endorganen keine einfachen Impulse zukommen lassen kann, wird aber reichlich aufgewogen durch die freie Abstufung in den Muskelbewegungen, welche das An- und Abschwellen der multiplen Reize, das Ein- und Ausschliessen der beliebig wechselnden Widerstände gewährt. Auch erhält sich die Reizbarkeit der Nerven gewiss länger, wenn dieselben durch wiederholte schwache Reize, als wenn sie durch einfache, beträchtlich verstärkte in lebhaftere Thätigkeit versetzt werden.

Gewährt nun aber, wie im Allgemeinen die Wiederholung der Reize vor der Verstärkung derselben, auch eine grössere Reizfrequenz Vorzüge vor einer geringeren? Steht das natürliche Reizintervall, welches sich für alle bisher darauf untersuchten Thiere nicht wesentlich verschieden ergeben hat, ebenso wie es unzweifelhaft von gewissen unbekannten Eigenschaften des nervösen Centralorgans abhängt, so auch mit den Sonderheiten des Muskels im Einklange? Zuvörderst ist es, gemäss den von Einem von uns gefundenen Ermüdungsgesetzen, ein besonderer Vortheil, dass durch die langsamste Reizfolge, welche noch dauernde Zusammenziehung zu bewirken vermag, die Ermüdung, die wesentlich mit der Reizfrequenz wächst, minimal gehalten wird. Sodann wird nach den von Helmholtz gefundenen Gesetzen der Superposition zweier schnell auf einander folgender Zuckungen die mechanische Wirkung am grössten sein, wenn jede Zuckungscurve vom Maximum der ihr vorhergehenden anhebt. Damit also die normale Reizfrequenz maximale Wirkung erzeuge, wäre es nöthig, dass die einfache Zuckung in $^1/_{20}''$ bis $^1/_{16}''$ ihr Maximum erreicht. Bei vielen Muskeln des Frosches, sowie bei den weissen Kaninchenmuskeln scheint dies unter normalen Verhältnisseu zuzutreffen. Es fehlt uns an Beobachtungsmaterial, die Gültigkeit dieser Angabe auch für menschliche Muskeln zu begründen.

Die Analyse der Willensbeweguug erforderte nunmehr, zu untersuchen, ob Zuckungen, die sich im Intervalle von $^1/_{20}''$ bis $^1/_{16}''$ superponiren, höher sind als diejenigen, welche in früheren oder späteren Stadien sich zu summiren begonnen haben.

Von den Doppelzuckungen.

Die Beantwortung der so einfach formulirten Frage ergab bald so mannichfaltige Verwickelungen, dass dieselben durch viele Versuchsreihen erst zum kleinen Theile haben gelöst werden können.

Es sind, soviel wir bisher bemerkt haben, 4 Factoren, welche die Höhe der summirten Contraction beeinflussen.

I. Die mechanische Wirkung des zweiten Antriebes, welcher, wenn möglich, der vom ersten Impulse geworfenen Last eine neue Beschleunigung ertheilt.

II. Die Ermüdung, welche ceteris paribus eine Höhendifferenz zwischen der ersten und der zweiten Zuckung bedingt: um so mehr, als die Erholungspause sehr klein ist.

III. Die Aenderung der Erregbarkeit, welcher ein Muskel für kurze Zeit nach erhaltenem Reize unterliegt.

IV. Ein Erregungsrest (Contractur), welcher zu den folgenden Contractionen sich addiren kann.

I. Ueber die mechanische Wirkung doppelter Zuckungsantriebe.

Helmholtz[1] hat in einer kurzen fundamentalen Mittheilung das schon oben erwähnte Gesetz aufgestellt, nach welchem zwei schnell aufeinander folgende maximale Zuckungen sich superponiren. Danach erhebt sich die zweite Zuckungscurve so über die erste, wie wenn der Ausgangspunkt die natürliche Länge des ruhenden Muskels markirte. Die Maximalhöhe der summirten Zuckung muss also immer gleich sein der Maximalhöhe einfacher Zuckung, addirt zu der Entfernung des Ausgangspunktes von der Abscisse. Es verstärkt demzufolge der zweite Impuls den ersten gar nicht, wenn dieser zur Zeit, wo der zweite mechanisch wirksam wird, selbst noch keine merkliche Bewegung der Last verursacht hat. Dies ist der Fall, wenn das Intervall zwischen den beiden Reizen kleiner ist als $^1/_{600}$ Secunde. Sind die Reize nicht maximal, so verstärken sich ihre Wirkungen auch bei der kleinsten Zwischenzeit.

Helmholtz hat allem Anscheine nach seine Untersuchung auf das Stadium der steigenden Energie der Muskelzuckung beschränkt; es ist aber auch von Interesse, zu untersuchen, in welcher Art die Zuckungscurve im Stadium der sinkenden Energie durch einen zweiten Zuckungsantrieb verändert wird. Da der natürliche Muskelton des Frosches 16—20 Schwingungen entspricht, das Stadium der steigenden Energie etwa $^1/_{20}$ Secunde dauert, so kann es sich ja leicht ereignen, dass der zweite superponirte Reiz, welchen das Rückenmark aussendet, erst manifest wird, wenn die Energie des contrahirten Muskels schon zu sinken begonnen hat. Aber auch abgesehen von diesem speciellen Interesse für

[1] *Monatsber. der Berliner Akademie der Wissenschaften.* 1854. S. 328.

das Verständniss der willkürlichen Tetani, ist die Untersuchung der Summationsverhältnisse im absteigenden Curventheile um deswillen von allgemeiner Wichtigkeit, weil hierdurch ein Mittel gegeben ist, die Dauer des activen Theiles der Zuckung zu bestimmen. Zu diesem Zwecke war eine Versuchsreihe über Doppelzuckungen von v. Raum ausgeführt worden, welche in dessen Dissertation niedergelegt ist. Die Versuche waren aber nicht mannichfach genug, um vollkommen eindeutige Resultate zu bieten. Es ergab sich, wie zu erwarten, dass die Summation im aufsteigenden Theile vollkommener war, als die von gleich hohem Punkte im absteigenden Curventheil ausgehende. Auch bei Anwendung von „Federwiderständen anstatt der Gewichte zeigte sich, dass die Entwickelung der verdoppelten Kraft um so vollkommener ist, je weniger die Energie zwischen den beiden Impulsen sinken konnte". Die Lösung der oben formulirten Frage stand also noch aus.

Nachdem wir nunmehr durch eine grössere Anzahl von Versuchen über die Ursachen der Inconstanz der Summationswerthe manchen Aufschluss erhalten haben, können einige Normen für das Verhältniss von Reizintervall und Summationshöhe aufgestellt werden.

Für den grössten Theil unserer Experimente diente der Triceps femoris des Frosches, vom Plexus ischiadicus aus gereizt, als Versuchsobject. Der Muskel zeichnete seine Zuckung vierfach vergrössert auf der am Schreibhebel vorbeigeschossenen Platte des du Bois-Reymond'schen Federmyographions[1] auf. Das Myographion ist, seit sein Erfinder es beschrieb, von diesem durch eine zeitmarkirende Stimmgabel vervollständigt worden. Für besondere Zwecke haben Gad und Tschirjew[2] daran einen zweiten beliebig verstellbaren Reizungscontact, wir eine elektromagnetische Auslösungsvorrichtung und eine Quecksilberdoppelrinne angebracht. Diese letztere setzte uns in den Stand, mit einem Schlittenapparate beiden Contacten, welche durch die geschossene Platte geöffnet werden, die Doppelreize in kurzen Intervallen dem Nerven zuzuleiten. Von den auf berusster Platte fixirten Zeichnungen wurden Photographien genommen, welche Vorbilder für die hier wiedergegebenen Zeichnungen waren. Die folgende Fig. 2 diene als Muster für die Darstellung der Summationscurve.

Das Curvensystem ist von einem frischen Präparate gezeichnet worden, die Reize (Oeffnungsinductionsschläge) waren maximale, d. h.

---

[1] E. du Bois-Reymond, Gesammelte Abhandlungen, Bd. I, S. 261, aus Poggendorff's *Annalen der Physik u. Chemie.* 1873. Jubelband. S. 591.

[2] S. Tschirjew, Fortpflanzungsgeschwindigkeit der elektrotonischen Vorgänge. *Dies Archiv.* 1879. S. 530 u. 531.

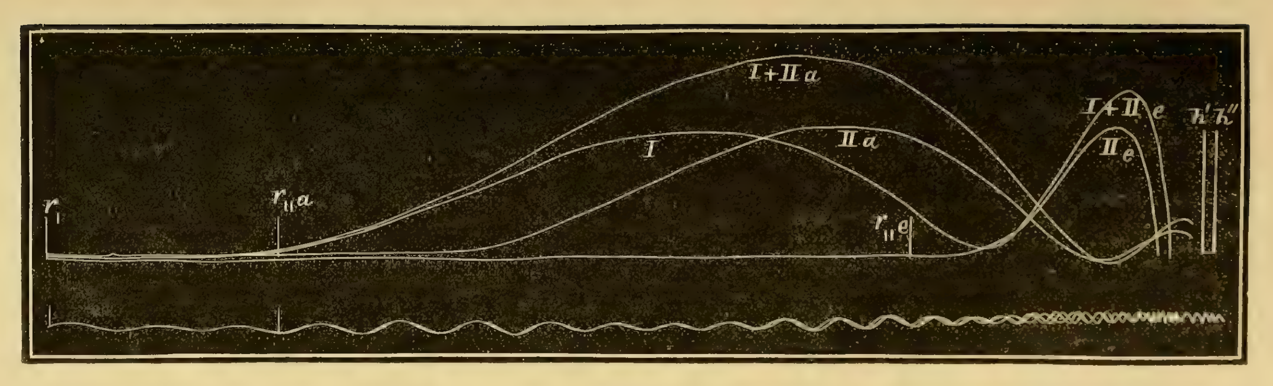


Fig. 2.

Maximale Zuckungscurven des mit 30 Gramm belasteten Triceps femoris vom Frosche in kleinen und grossen Intervallen summirt.

$r_{,}$ bezeichnet den Reizmoment für Curve I.

$r_{,,}\,a$ " " " " " II*a*.

$r_{,,}\,e$ " " " " " II*e*.

I + II*a* bezeichnet die aus 2 Reizen im Intervall von fast 3 Wellenlängen resultirte Zuckungscurve, deren componirende Curven I und II*a* gesondert geschrieben wurden.

I + II*e* bezeichnet die im Intervall von 13 Wellenlängen summirte Zuckungscurve I und II*e*.

h' und h'' bezeichnen die Höhen der vor dem Versuche vom 1. und vom 2. Contacte ausgelösten Maximalzuckungen des Muskels. Eine ganze Wellenlänge der untersten Linie entspricht $^{1}/_{143}$ Sec.

man konnte durch Verstärkung der Einzelreize keine höheren Zuckungen vom Muskel erhalten.

Die resultirenden Summationscurven sind höher als sie dem Helmholtz'schen Gesetze zufolge sein dürften. (S. 10.)

Nach der oben wiedergegebenen Regel für die Zusammensetzung von schnell folgenden Zuckungen müsste die maximale Höhe der summirten Zuckungscurve I + IIa gleich sein der Summe aus der Maximalhöhe der einfachen Curve . . . . = 16·5^{mm}
und der Entfernung des (Ausgangs-) Punktes für Curve IIa
von der Abscisse (d. h. wo IIa von I sich abzuheben
beginnt) . . . . = 7.0^{mm}
die geforderte Summe würde sein . . . . = 23·5^{mm}.

Die Maximalhöhe der Summationscurve I + IIa ist aber in Wirklichkeit . . . . = 26·0^{mm}.

Ebenso sollte die Maximalhöhe der Summationscurve I + IIe, gesetzmässig summirt, aus dem Werthe der Maximalhöhe der einfachen Curve gleich sein . . . . = 16·5^{mm}
und die Entfernung des Ausgangspunktes von der Abscisse = 1·0^{mm}
die geforderte Summe wäre demgemäss . . . . = 17·5^{mm}
sie ist aber in Wirklichkeit . . . . = 21·5^{mm}.

Freilich ist die Höhenberechnung nicht ganz exact auszuführen, weil die Ausgangspunkte nicht genau bestimmbar sind, zumal oft, wie auch in diesem Falle der freigelassene Muskel während der vielfachen Zuckungen dauernd etwas gedehnt wird, so dass die Abscissen und demzufolge auch identische Zuckungscurven sich nicht vollkommen decken. Aus diesem Grunde sind auch im vorliegenden durch Fig. 1 wiedergegebenen Muster die zu den vier Curven gehörigen Abscissen nicht gezogen worden, ebenso ist Curve I, deren Verlauf ja aus der Summationscurve I + IIe bis ganz nahe ihrem Ende erkennbar wird, nicht besonders gezeichnet. Auch werden die Curven oft seitlich etwas gegen einander verschoben, wenn die Schreibtafel nicht jedesmal mit genau gleicher Geschwindigkeit an dem aufgeworfenen Schreibhebel vorbeifliegt. Diese Aenderungen der Geschwindigkeit, welche in der zeitmarkirenden Stimmgabelcurve, zumal jenseits des zweiten Contactes, ausgedrückt erscheinen, sind bei der von uns angewandten Construction des Apparates unvermeidlich, wenn die durch diesen Contact gebildete Hemmung an verschiedene Stellen der Bahn gerückt wird. Alle Fehler, welche durch die besproche nen Mängel der Zeichnung in die Berechnung der Summationshöhen eingeführt werden, sind aber viel zu klein, um die oben bestimmten Differenzen zwischen den gesetzmässigen und den wirklichen Maximalhöhen zu erklären.

Die wenigen in der folgenden Tabelle zusammengestellten Zahlen reichen wohl hin, zu zeigen, in welcher Art die Summation maximaler Zuckungscurven im Stadium der steigenden Energie geschieht.

I. Tabelle

der Höhenwerthe maximaler, von frischen oder wenig ermüdeten Muskeln gezeichneter Zuckungen, die sich im Stadium der steigenden Energie summiren.

Verhältniss der Ausgangshöhe zur Maximalhöhe der einfachen Zuckung.	Verhältniss der gefundenen zur gesetzmässig berechneten Summationshöhe.	Ausgangshöhe. mm	Maximalhöhe einfacher Zuckung. mm	Maximalhöhe der summirten Zuckung. mm	Gesetzmässige Höhe der summirten Zuckung. mm
0·05	1·40	1·0	18·25	27·0	19·25
0·12	1·28	2·0	17·0	24·25	19·0
0·13	1·41	*1·0 (2·0)	7·5 (15·0)	12·0 (24·0)	8·5 (17·0)
0·17	1·39	1·75	10·5	17·0	12·25
0·25	1·00	5·0	20·0	25·0	25·0
0·32	1·04	5·50	17·0	23·5	22·5
0·35	1·06	5·25	15.0	21·5	20·25
0·42	1·11	7·0	16·5	26·0	23·5
0·65	0·98	10·0	15·5	25·0	25·5
0·73	0·89	8·0	11·0	17·0	19·0
0·84	0·83	14·5	17·25	27·5	31·75
0·87	0·75	13·0	15·0	21·0	28·0
0·97	0·93	*7·0 (14·0)	7·25 (14·5)	13·25 (26·5)	14·25 (28·5)
1·00	0·74	17·5	17·5	26·0	35·0

Die ersten beiden Spalten der Tabelle zeigen, wie der zweite Impuls immer mehr an Wirkung einbüsst, in je vorgerückterem Stadium der ersten Zuckung er dieser nachhilft. Die grösste Kraft entfaltet er, wenn er im ersten Sechstel der primären Zuckungscurve eingreift. Dann verläuft also die Zuckung nicht so, „als wäre der in diesem Augenblicke stattfindende Contractionszustand des Muskels sein natürlicher Zustand

* In diesen Fällen ist der Angriffspunkt des Muskels am Schreibhebel bis zum Halbirungspunkte des Hebels vorgerückt, so dass die Hubhöhen nur verdoppelt, nicht wie sonst vervierfacht worden. Die absoluten Werthe sind also erst verdoppelt mit den übrigen vergleichbar.

und die zweite Zuckung allein eingeleitet worden,“[1] sondern es bleibt noch ferner der Antrieb der ersten Zuckung wirksam. Im zweiten und dritten Sechstel des Anstiegs hilft die zweite Zuckung der ersten ziemlich genau dem Helmholtz’schen Gesetze gemäss. Wenn endlich die zweite Zuckungscurve nahezu vom Gipfel der ersten anhebt, so „fällt sie stets etwas kleiner aus als die angeführte Regel fordern würde,“ da sie sich dem tetanischen Verkürzungsmaximum des Muskels nähert. Die Zuckungscurven, welche in einem kürzeren als dem ersten hier angegebenen Intervalle von $^1/_{143}$″ einander folgen, scheinen ihre Wirkung nicht mehr wesentlich zu summiren. Wir haben nicht genügend Versuche, um die Grenze genau zu bestimmen, wo die Summation beginnt, doch haben uns einige im Intervall von $^1/_{286}$″ folgende Reize gar keine verstärkende Wirkung mehr gezeigt, und die Bemerkung von Helmholtz: „Es wirken zwei maximale Reize nicht stärker als einer, wenn ihre Zwischenzeit so klein ist (kleiner als ungefähr $^1/_{600}$ Secunde), dass beim Anfang der zweiten Zuckung die erste noch keine merkliche Höhe erreicht hat,“ lässt darauf schliessen, dass Helmholtz auch von Reizen, die in etwas längeren Intervallen einander folgten, nicht beträchtliche Summationen entstehen sah. — Wenn man demnach die Summationscurven, deren für uns wichtigste Werthe die obige Tabelle enthält, in einem System graphisch zusammenstellte, indem man alle über der gleichen Zeitabscisse construirte, so würde der Complex in seinen äusseren Conturen einem langen Bergrücken gleichen, der vom Fusse des kurzen Vorberges sogleich viel steiler als dieser aufsteigt.

Während die Summationen im Stadium der steigenden Energie unter verschiedenen Umständen der Erregbarkeit und der Leistungsfähigkeit des Präparates im Allgemeinen übereinstimmende Verhältnisse zeigen, wird man bei Untersuchung der Zuckungssummationen im Stadium der sinkenden Energie von allerhand merkwürdigen Unbeständigkeiten überrascht, so dass man ohne einen Leitfaden für das Curvengewirr häufig veranlasst wird, an grobe Versuchsfehler zu glauben. Nachdem man von einem guten Präparate Curvenpaare erhalten hat, die eine gewisse Regel der Abnahme der Summenwerthe mit dem Sinken der Ausgangshöhen zeigen, findet man häufig unter gleichen äusseren Versuchsbedingungen ganz abweichende Resultate. Ja, es geschieht, dass von höheren Ausgangspunkten kleinere Zuckungsmaxima erreicht werden, als von niedrigeren; es kann sogar die Maximalhöhe der summirten Zuckung kleiner bleiben, als die Maximalhöhe einfacher Zuckung.

---

[1] Helmholtz, a. a. O.

Nachdem wir aber auf die Einflüsse der Ermüdung aufmerksam geworden waren, erkannten wir von den Gesichtspunkten aus, welche durch die Untersuchungen über die Muskelermüdung eröffnet sind, im scheinbaren Durcheinander den geordneten Plan. Hiervon werden wir im nächsten Capitel handeln.

Jetzt betrachten wir nur diejenigen Summationsverhältnisse, die im Stadium der sinkenden Energie bei frischen Muskelpräparaten Statt haben.

Die untenstehende Tabelle diene zur Orientirung.

II. Tabelle

der Höhenwerthe maximaler, von frischen Muskeln gezeichneter Zuckungen, die sich im Stadium der sinkenden Energie summiren.

Verhältniss der Ausgangshöhe zur Maximalhöhe der einfachen Zuckung.	Verhältniss der gefundenen zur gesetzmässig berechneten Summationshöhe.	Ausgangshöhe. mm	Maximalhöhe einfacher Zuckung. mm	Maximalhöhe der summirten Zuckung. mm	Gesetzmässige Höhe der summirten Zuckung. mm
1·0	0·93	*8·0 (16·0)	8·0 (16·0)	15·0 (30·0)	16·0 (32·0)
1·0	0·87	*6·0 (12·0)	6·0 (12·0)	10·5 (21·0)	12·0 (24·0)
1·0	0·82	14·0	14·0	23·0	28·0
0·88	0·87	15·0	17·0	28·0	32·0
0·75	0·86	6·0	8·0	12·0	14·0
0·71	0·82	15·0	21·0	29·5	36·0
0·69	0·96	11·0	16·0	26·0	27·0
0·62	0·8	10·5	17·0	22·0	27·5
0·47	1·04	8·0	17·0	26·0	25·0
0·41	0·91	7·0	17·0	22·0	24·0
0·35	1·0	7·0	20·0	27·0	27·0
0·31	0·85	5·0	16·0	18·0	21·0
0·31	1·0	5·5	17·5	23·0	23·0
0·3	1·06	6·0	20·0	27·5	26·0
0·25	1·12	5·0	20·0	28·0	25·0
0·24	1·15	4·5	19·0	26·0	23·5
0·23	1·02	3·75	16·0	20·25	19·75
0·22	1·10	3·5	16·0	21·5	19·5

* Halbe Hebellänge.

Verhältniss der Ausgangshöhe zur Maximalhöhe der einfachen Zuckung.	Verhältniss der gefundenen zur gesetzmässig berechneten Summationshöhe.	Ausgangshöhe. mm	Maximalhöhe einfacher Zuckung. mm	Maximalhöhe der summirten Zuckung. mm	Gesetzmässige Höhe der summirten Zuckung. mm
0·22	0·91	3·0	13·5	15·0	16.5
0·14	1·0	1·5	10·5	12·0	12·0
0·12	1·15	2·0	17·0	22·0	19·0
0·05	1·0	1·0	20·0	21·0	21·0
0·0	1·11	0·0	18·0	20·0	18·0
0·0	1·07	0·0	7·0	7·5	7·0
—0·05	1·10	—1·0	20·0	21·0	19·0
—0·06	1·09	—1·0	18·0	18·5	17·0
—0·06	1·11	—1·0	18·0	19·0	17·0
—0·11	1·22	—2·0	18·0	19·5	16·0
—0·11	1·08	—2·0	17·5	17·0	15·5
—0·13	1·15	—2·0	15·0	15·0	13·0

Ein Vergleich dieser Tabelle mit der vorhergehenden lehrt, dass die Summation zweier Zuckungen eines ganz frischen Muskels im Stadium der sinkenden Energie nahezu in derselben Weise erfolgt, wie im Stadium der steigenden Energie, nur mit dem Unterschiede, dass, während die im ersten Aufstieg sich entwickelnde Energie mächtig gefördert wird durch den superponirten Impuls, dagegen der schwache Kraftrest im letzten Zuckungsabfalle wenig mehr die Wirkung der zweiten Contraction unterstützt.

Es ist jedoch zur richtigen Würdigung der Zahlenwerthe zu bemerken, dass als Ausgangshöhe im absteigenden Curventheile das erste Minimum der zweiten Curve angenommen worden ist. Diese Minimalhöhe ist aber merkwürdiger Weise keineswegs immer identisch mit der Höhe des Ortes auf der absinkenden ersten Curve, wo die zweite sich abhebt. Besser als Beschreibung und Zahlenbelege wird eine Abbildung dies Verhalten klar machen.

Der folgende Holzschnitt (Fig. 3) stellt eine facsimilirte Curvengruppe dar, auf welcher drei Doppelzuckungen und die sie componirenden einfachen aufgezeichnet sind.

In der dritten Summationscurve (vom längsten Intervall) ist deutlich erkennbar, wie die zweite Curve sich von der ersten nahe unter dem Wendepunkte dieser ablöst, wo sie in das Stadium der sinkenden Energie

tritt, aber nicht sogleich aufwärts steigt, sondern zuvor noch ein Stück mit verminderter Geschwindigkeit abfällt, sodann sich erhebend, zu beträchtlicher Maximalhöhe gelangt, ziemlich parallel über der gesondert notirten letzten Einzelzuckung. Ohne solche Einsenkung wendet sich die zweite Doppelzuckungscurve ($^{8}/_{143}$'' Reizintervall) ziemlich genau vom Maximum der ersten ab, plötzlich stark vermehrte Beschleunigung des Hebels anzeigend, schliesslich die Last auf etwas grössere Höhe fördernd, als es die dritte Doppelzuckung vermocht hat. Der im Intervall $^{5}/_{143}$ Secunden dem ersten Reiz folgende zweite erhält die grösste Geschwindigkeit der ersten Zuckung, ohne Steigerung derselben, längere Zeit gleichmässig als der einfache Reiz dies vermag. Das Maximum dieser summirten Zuckung bleibt wesentlich unter demjenigen der zweiten.

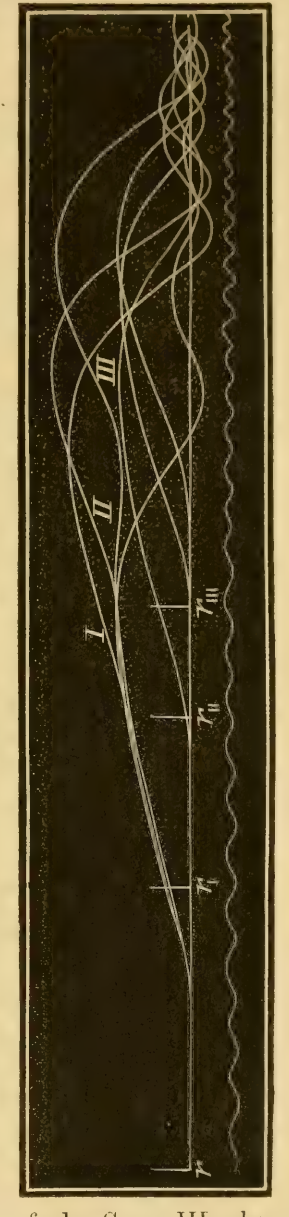


Fig. 3.

Triceps femoris eines Frosches mit 60 Gramm belastet durch drei Paare Oeffnungsinductionsströme gereizt. Das Intervall der ersten beiden Reize durch die Momentmarken bei r und r_{I} bezeichnet, betragen $^{5}/_{143}$, das Intervall des zweiten $^{8}/_{143}$'', das Intervall des dritten $^{1.05}/_{143}$''. — Eine ganze Wellenlänge der untersten Zeitschreiber-Linie entspricht $^{1}/_{143}$ Secunde.

Besonders interessant aber ist, neben diesen Formwandlungen der Curven, die Veränderung, welche die Dauer der latenten Reizung erfährt, je nach dem Thätigkeitsgrade, in welchem sich der Muskel zur Zeit ihres Ablaufs befindet. Die vom Reize r_{I} resultirende Doppelcurve I verliess die erste einfache etwa nach der gleichen Latenzzeit, welche verging, bevor die zweite einfache Curve sich von der Abscisse erhob, hingegen löste der Reiz r_{II} die summirte Zuckung II viel schneller aus, als die entsprechende einfache, und ebenso war die Wirkung von dem mit r combinirten Reiz r_{III} im Verlaufe der Curve III schon manifestirt, in einem Zeitpunkte, wo die isolirte Reizung r_{III} noch lange latent blieb.

Diese Veränderlichkeit in der Zeitdauer latenter Reizung mit dem Wechsel der Arbeitsphasen, in welchen der Muskel begriffen war, als ihn der neue Reiz traf, war am Einfachsten zu erklären durch die Annahme, dass der ein bestimmtes Gewicht hebende Muskel in den verschiedenen Stadien seiner Zuckung verschieden belastet ist, je nachdem die Bewegung der trägen Masse kleiner oder grösser ist als seine eigene Contractionsgeschwindigkeit. Daher ist im Anfange der Zuckung der Widerstand, welchen das (zu dieser Zeit noch ruhende) Gewicht dem plötzlichen Bewegungsantrieb bietet, am grössten, daher die zur Ueberwindung jenes Widerstandes nöthige „Spannungshöhe" maximal. Wenn die Widerstände der zu bewegenden Last im Verhältniss zur Muskelenergie so gross sind, dass die für die Bewegungsantriebe aufgewendeten lebendigen Kräfte sich ganz in Spannungen des elastischen Muskelgebildes umsetzen, dann kann es kommen, dass der Muskel sich gar nicht verkürzt, sondern durch die erlittene Spannung, zufolge seiner unvollkommenen Elasticität, bald nach Beendigung seiner Zuckungen durch die ruhende Last etwas verlängert bleibt. Da man nun die Entwickelung der Zuckungsenergie nicht als instantan ansehen darf,[1] so kann es kommen, dass erst nach einer vorgängigen Verlängerung, die der Muskel durch den ersten Ruck erfahren hat, die Contraction, vermöge des nunmehr noch übrigen Antriebes, in bewegende Wirksamkeit tritt. In der That haben wir bei einigen vorläufigen Versuchen vor dem Erheben der Zuckungscurve über die Abscisse ein geringes Sinken des Zeichenstiftes unter die Abscisse beobachtet, ähnlich wie es neuerdings Gad[2] am ruhenden Ende des partiell contrahirten Muskel beschrieben und aus Dehnungen des ruhenden Theiles erklärt hat. Sobald die Masse in Bewegung gerathen ist, nehmen die Widerstände gegen die Muskelcontraction ab und verschwinden, sobald die Contraction langsamer wird als die Bewegung des geworfenen Gewichts. Es wird also der mit träger Masse belastet zuckende Muskel in den Zeitmomenten, in welchen seine Energie schnell abnimmt, völlig oder theilweise entlastet werden. Umgekehrt kann es geschehen, dass das von der Wurfhöhe herabfallende Gewicht durch die erlangte lebendige Kraft, dem in neuer Zuckung ihm entgegeneilenden sich verkürzenden Muskel einen Widerstand entgegensetzt, der grösser ist als jener, welchen das ruhende Gewicht auf den vom Ruhezustand an zuckenden Muskel ausübt. So können also die Spannungshöhen, welche sich während verschiedener Phasen im doppelt zuckenden Muskel

---

[1] Helmholtz, *Dies Archiv.* 1850. S. 283.

[2] Ueber das Latenzstadium des Muskelelementes und des Gesammtmuskels. *Dies Archiv.* 1879. S. 255.

entwickeln, sehr wechselnde Werthe annehmen. Einige besondere Versuche haben uns nun gezeigt, dass die Dauer der latenten Reizung auch beim „belasteten" Muskel (Gastroknemius und Triceps femoris vom Frosche) mit der Last wächst, wenn auch natürlich lange nicht so bedeutend, wie es Helmholtz bei dem „überlasteten" nachgewiesen hat.[1]

Es lag jetzt nahe, diese von der Trägheit der bewegten Massen herrührenden während des Zuckungsverlaufes veränderlichen Arbeits- und Spannungsverhältnisse dadurch auszuschliessen, dass man den Muskel, wie Marey, Place, Klünder, Gad u. A. oft gethan haben, Metallfedern ziehen liess, anstatt ihm Gewichte anzuhängen.

Unter der Annahme, „dass die Spannungsänderung der Feder in jedem Zeitmoment gleich derjenigen des mit derselben verbundenen Muskels ist"[2], können wir die Widerstände, gegen welche der Muskel sich verkürzt, als ziemlich constant ansehen, wenn wir dafür sorgen, dass die Spannung der widerstehenden Feder für den Umfang einer Zuckung sich nicht wesentlich ändert.

Vergleichende Zuckungsreihen, welche wir den Triceps femoris mit Gewichten oder mit gleich stark spannender Feder haben ausführen lassen, zeigten, dass die vom Myographionhebel gezeichneten Zuckungscurven höher waren, wenn ein Gewicht, als wenn eine entsprechende Federspannung zu überwinden war.

Die weiter unten stehenden Figuren (4a und b) geben ein charakteristisches Bild von den Unterschieden der beiden Arten von Zuckungscurven, welche sich etwa folgendermaassen formuliren lassen:

1. Die Curve des Federmuskels steigt anfänglich (etwa $^3/_{143}$ bis $^4/_{143}$ Sec. lang) steiler auf, als diejenige des Gewichtsmuskels.

2. Die Gewichtscurve erreicht die Federcurve und übertrifft sie, so dass die Maximalhöhe der ersteren häufig beträchtlich höher ist, als die der letzteren.

3. Die Federcurve fällt steiler ab, als die Gewichtscurve, welche oft erst $^2/_{143}$ bis $^3/_{143}$ Sec. später die Abscisse erreicht.

4. Die Federcurve enthält wellige Erhebungen, welche von den elastischen Schwankungen der gezerrten Feder herrühren.

5. Summationscurven, von Muskeln ausgeführt, die gegen Federwiderstände arbeiten, unterscheiden sich nicht nur in den beschriebenen Sonderheiten, die jede Curve für sich aufweist, sondern auch dadurch, dass das Stadium der latenten Reizung für die zweite Zuckung bei dem

---

[1] *Dies Archiv.* 1850. S. 302 ff.

[2] Gad hat a. a. O. die Bedingungen entwickelt und realisirt, unter denen das kürzeste Latenzstadium des Gesammtmuskels zum Vorschein kommt.

Gewichtsmuskel wesentlich grösser ist, als bei dem Federmuskel. Der Unterschied ist um so bedeutender, je tiefer die Ausgangshöhe für die zweite Zuckung gelegen ist.

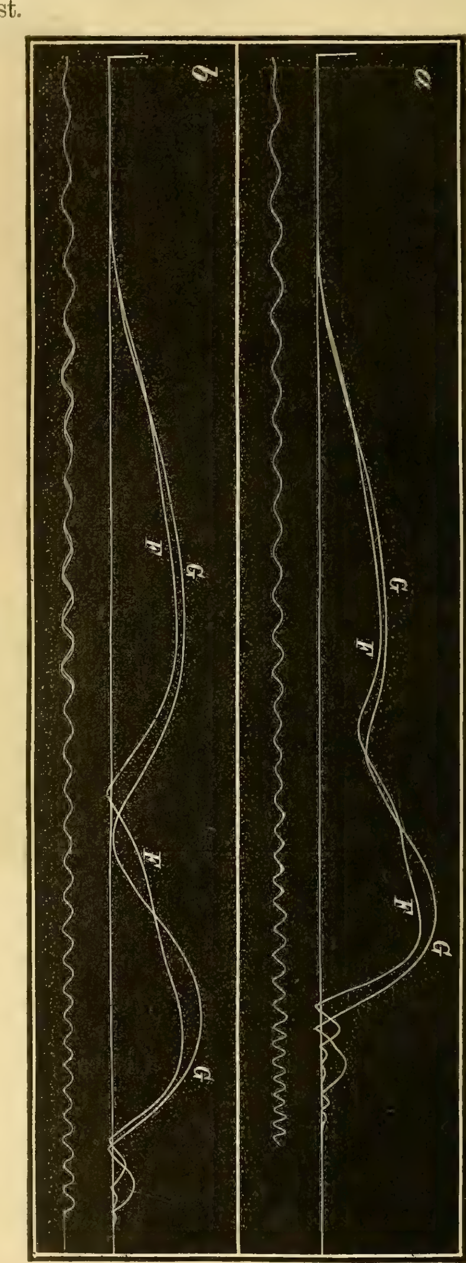


Fig. 4.

Fig. 4a u. 4b. Zwei Paar Summationscurven. Die eine Curve zeichnet der Muskel mit 60 Gramm belastet (Curve *G*), die andere, während der Muskel durch eine Spiralfeder von 60 Gramm Spannung gedehnt wurde (Curve *F*).

Der Muskel ist „belastet", doch durch nahe gerückte Unterstützung vor Ueberdehnung bewahrt.

Eine Wellenlänge entspricht $^{1}/_{143}$ ".

Fig. 4a. Reizintervall $^{10}/_{143}$ ".

Fig. 4b. Reizintervall $^{12}/_{143}$ ".

Die vorstehende Abbildung (Fig. 4 *a* u. *b*) illustrirt wohl ohne weitere Beschreibung die eben genannten charakteristischen Unterschiede.

Ganz frei von träger Masse ist aber auch der gegen Federwiderstand zuckende Muskel nicht; denn immer ist noch der (am Angriffspunkte der Muskel durch 10^{grm} äquilibrirbare) Zeichenhebel mit dem Systeme verbunden.

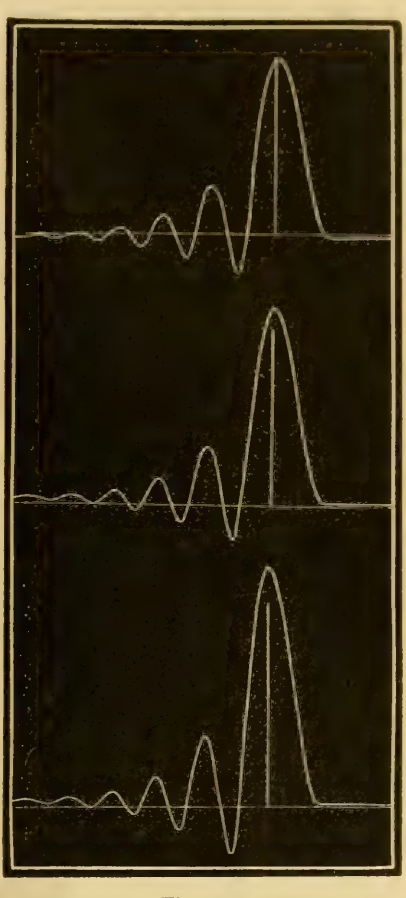


Fig. 5.

Der Triceps femoris vom Frosche zeichnet mit drei Schreibhebeln eine Zuckung auf. Obere Curve vom Hebel mit der Sehne fest vereinigt. Mittlere Curve vom Schreibhebel, der durch biegsame Fäden mit Muskel und Gewichtshebel verbunden. Untere Curve vom Hebel, der mit dem Gewicht fest verbunden. Die senkrechten Linien bezeichnen die Länge der Tangenten der drei bis zum voraussichtlichen Maximum der gezeichneten Muskelzuckung langsam gehobenen Hebel. Rotationsgeschwindigkeit des Cylindermantels 77 mm in 1″.

Da nun bei den meisten Myographionversuchen die Schreibhebel einerseits mit dem Muskel, andererseits mit dem Gewichte locker verbunden sind, so erschien es wünschenswerth, nachzuforschen, in wieweit die vom Schreibhebel gezeichneten Curven die Bewegung des unteren Muskelendes oder die Bewegung des gehobenen Gewichtes wiedergeben.

Um die etwaigen Differenzen experimentell festzustellen, wurde eine Anordnung construirt, welche drei vertical unter einander schreibende Hebel verbunden enthielt.

Die nebenstehende Figur 5 giebt das Facsimile der durch eine Zuckung mit den 3 Hebeln gewonnenen Curven.

Der oberste Hebel war an die Muskelsehne gehakt, der mittlere war mit dem ersten sowie mit dem unteren durch einen biegsamen Faden verknüpft; aber mit dem untersten war das belastende Gewicht starr verbunden. Im Stadium der steigenden Energie erfuhr das gesammte System eine beschleunigte Hebung. Sobald aber die Contractionsgeschwindigkeit des Muskels sich minderte, flogen die frei beweglichen Theile den Fallgesetzen entsprechend weiter. Der mit dem Muskel

fest verbundene Hebel wurde durch die unvollkommene Biegsamkeit des Muskels, oder im Falle eines genau axial gerichteten Druckes durch die geringe Compressibilität gehemmt. Der mittelste, zusammen mit dem untersten aufwärts geworfen, fand nur durch die Reibungswiderstände an der Schreibfläche und an der Drehaxe Verzögerungen, welche ihn, bevor er den Scheitel seiner Wurfparabel erreicht hatte, zur Umkehr brachten. Der unterste (dritte) Hebel ging höher als der zweite, weil die gleichen Reibungswiderstände die grössere Masse (Hebel mit Gewicht) verbunden weniger zu hemmen im Stande waren. In der That sind die Curven, welche die drei Hebel zeichnen, nach der Maximalhöhe abgestuft, derart verschieden, dass die Curve des Gewichtshebels am höchsten, die des Muskelhebels am niedrigsten, zwischen beiden die des mittleren Schreibhebels ist. Die Dauer der Zuckung ist von allen drei gleich lang angegeben. Dies zeigt, dass nicht nur, wie selbstverständlich, die durch gespannte Fäden verbundenen Hebel gleichzeitig gehoben werden, sondern dass auch der Muskel so langsam erschlafft, dass die anfänglich freifallenden Hebel ihn noch erreichen, bevor er seine natürliche Länge (welche ihm mit der Lastung des obersten fest verbundenen Hebels zukommt) wieder gewonnen hat. Von da ab erfolgt die Dehnung (durch den Hebel und das Gewicht) in derselben Weise, wie wenn sie ihm im Ruhezustande angehängt worden wären. Ferner ist sowohl die Zeit vom Anfangspunkte der Contraction an bis zur Maximalhöhe in allen drei Fällen gleich, als auch der zweite Theil, welcher die Zeit vom Maximum bis zum Erreichen der Ruhelänge umfasst. Hieraus ist zu schliessen, dass nach dem ersten gemeinsamen Antriebe der Muskelhebel sowie der mittlere Schreibhebel verzögert werden derart, dass der relativ frei fliegende Gewichtshebel zur gleichen Zeit die grössere Höhe erreicht. Ebenso fällt bei der Erschlaffung des Muskels der mit diesem starr verbundene Hebel nicht schneller, als der Fallgleichung entspricht, selbst wenn die Muskelmasse in kürzerer Zeit erschlafft war, weil der Muskel biegsam ist. Schliesslich folgen der mittlere und der untere Hebel der Bewegung des oberen so genau, dass alle drei Curven gleichzeitig in die Abscisse sinken, obwohl sie von verschiedener Höhe gefallen sind.

Zu den in diesem Capitel kurz besprochenen mechanischen Complicationen, die sich bei Zeichnung der Summationscurven geltend machen, ist noch die Begünstigung zu rechnen, welche elastische Schwankungen des Muskels am Ende der ersten Zuckungscurve unter passenden Bedingungen dem mechanischen Effecte der zweiten bringen können. Aus diesem Grunde erhalten manche Maximalhöhen, die aus Summationen ganz am Ende des Stadiums der sinkenden Energie entstanden sind, merkwürdig hohe Werthe, besonders dann, wenn sie von Stellen der

ersten Curve anheben, die unter der Abscisse liegen, also im Momente grösster elastischer Spannung.

II. Von der Ermüdung, welche bei den Zuckungssummationen eine Höhendifferenz zwischen der ersten und zweiten Zuckung bedingt.

Wir haben schon oben erwähnt, dass erst Ordnung in das scheinbare Gewirr der Vorgänge bei den Doppelzuckungen kam, als die Einflüsse der Ermüdung, wie sich dieselben zumal bei den Summationen im Stadium der sinkenden Energie geltend machten, erkannt worden waren.

Um eine klare Vorstellung von den tief eingreifenden Aenderungen zu geben, welche die Ermüdung in den Summationsvorgängen bewirkt, mögen folgende zwei Figuren (S. 24) Platz finden. Die erste (Fig. 6) giebt ein System summirter Zuckungscurven wieder, welches ein frischer Muskel gezeichnet hat, die zweite (Fig. 7) ein auf analoge Weise vom ermüdeten Muskel gewonnenes System.

Die Fig. 6 erscheint als ganz gesetzmässiger Complex; nur dass wegen der grossen Belastung die Summation im Stadium der steigenden Energie nicht so schnell wächst wie in anderen Fällen. Die Fig. 7 dagegen bietet ganz auffallende Unregelmässigkeiten dar. Am merkwürdigsten erscheint die schon oben hervorgehobene Thatsache, dass von höheren Orten des abfallenden Theils der ersten Zuckungscurven ausgehende zweite Curven niedrigere Summationswerthe geben als tiefer aufgesetzte.

Die untenstehende Tabelle III enthält eine Zusammenstellung der das Stadium der sinkenden Energie betreffenden Summationswerthe von Zuckungen, welche verschiedene ermüdete Muskeln gezeichnet haben.

Man ersieht daraus, dass im Allgemeinen die vom Höhepunkte der ersten Curve ausgehenden addirten Curven nur wenig höhere Werthe erreichen als die Normalhöhe einfacher Zuckung beträgt, dass etwas unter dem Gipfel abgehende zweite Curven nicht einmal den Werth einfacher Zuckungen erlangen, während in späteren Stadien der sinkenden Energie summirte Zuckungen meist etwas höhere Maxima haben; und dass am Ende abgehende Curven die gesetzmässige Höhe erreichen, oder unter günstigen Bedingungen wohl auch etwas überschreiten.

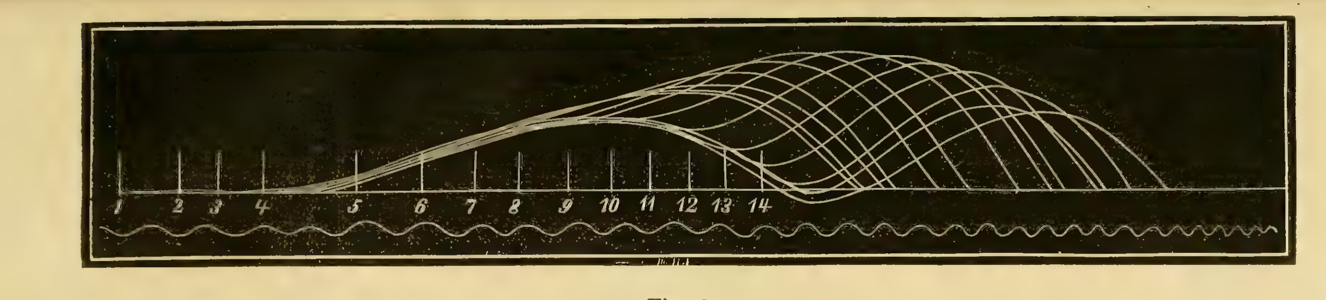


Fig. 6.

Triceps femoris vom Frosche zeichnet ganz unermüdet mit 60 Gramm belastet ein System von 14 Doppelzuckungscurven, in wachsenden Reizintervallen. Die senkrechten numerirten Striche markiren die 14 Reizmomente.
Die Stimmgabelcurve markirt $^{1}/_{143}''$ als ganze Schwingungen.

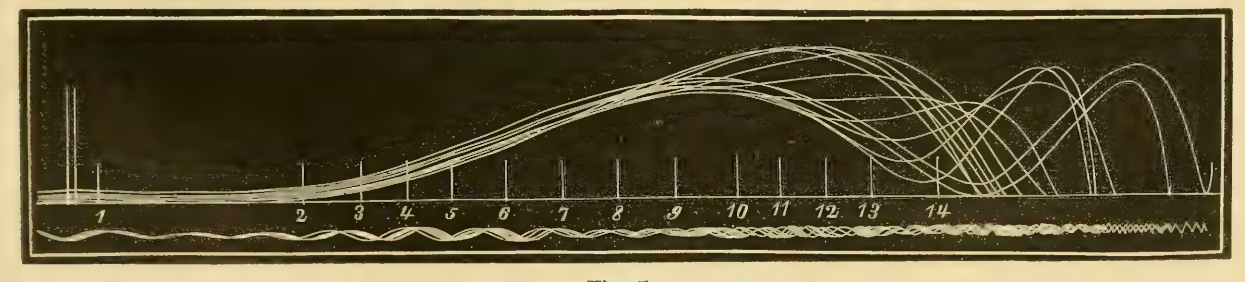


Fig. 7.

Triceps femoris vom Frosche zeichnet mit 30 Gramm belastet nach längerer Arbeit ein System von 14 Doppelzuckungscurven in wachsenden Reizintervallen. Die senkrechten numerirten Striche markiren die 14 Reizmomente. Die letzten (zuerst gezeichneten Curven) sind bei etwas grösserer Geschwindigkeit der Myographionplatte geschrieben, als die übrigen, daher die Stimmgabelcurven, welche $^{1}/_{143}''$ markiren in einander verschoben erscheinen.

III. Tabelle

der Höhenwerthe maximaler, von ermüdeten Muskeln gezeichneter Zuckungen, die sich im Stadium der sinkenden Energie summiren.

Verhältniss der Ausgangshöhe zur Maximalhöhe der einfachen Zuckung.	Verhältniss der gefundenen zur gesetzmässig berechneten Summationshöhe.	Ausgangshöhe mm	Maximalhöhe einfacher Zuckung mm	Maximalhöhe der summirten Zuckung mm	Gesetzmässige Höhe der summirten Zuckung mm
1·0	0·55	5·0	5·0	5·5	10·0
1·0	0·58	17·0	17·0	20·0	34·0
1·0	0·53	14·0	14·0	15·0	28·0
1·0	0·53	14·0	14·0	15·0	28·0
1·0	0·56	16·0	16·0	18·0	32·0
0·86	0·38	12·0	14·0	10·0	26·0
0·81	0·45	6·5	8·0	6·5	14·5
0·81	0·37	9·0	11·0	7·5	20·0
0·79	0·49	11·5	14·5	12·75	26·0
0·78	0·31	7·0	9·0	5·0	16·0
0·76	0·61	11·0	14·5	15·5	25·5
0·73	0·46	11·0	15·0	12·0	26·0
0.58	0·52	9·0	15·0	13·0	24·0
0·57	0·68	8·5	15·0	16·0	23·5
0·55	0·77	8·0	14·5	17·25	22·5
0·45	0·76	7·0	15·5	17·0	22·5
0·44	0.72	7·0	16·0	16·75	23·0
0·38	0·56	4·2	11·0	8·5	15·2
0·35	0·71	5·5	15·5	15·0	21·0
0·3	0·68	3·3	11·0	9·74	14·3
0·21	0·99	3·0	14·5	17·25	17·5
0·17	1·03	2·5	14·5	17·5	17·0
0·09	0·95	1·0	11·0	11·5	12·0
0·0	1·0	0·0	14·5	14·5	14·5

Einige Verhältnisswerthe, welche von den benachbarten, analogen Stadien angehörigen, erheblich abweichen, werden nicht auffallend erscheinen, wenn man bedenkt, dass die Reihen verschiedenen Muskeln zugehören, die sich gewiss in ganz verschiedenen Ermüdungsstadien befanden.

Die Deutung dieser Resultate wird einfach, wenn wir uns die für die Muskelermüdung geltenden Gesetze in's Gedächtniss zurückrufen[1].

1. „Die Differenz der (arithmetischen) Ermüdungsreihe nimmt ab, wenn die Reizintervalle wachsen."

2. „Es arbeitet der Muskel, so oft er auch seinen Zuckungsrhythmus hat wechseln müssen, in jedem Ermüdungsstadium, bei beliebigem Reizintervalle, in derselben Weise weiter, als wenn er alle bis dahin ausgeführten Contractionen vom Anfange an in dem gegenwärtigen Intervalle gemacht hätte. Die Höhen gleicher Intervalle, mit einander verbunden, ergeben Ermüdungscurven, welche von einem gemeinsamen Anfangspunkte im Allgemeinen geradlinig und divergent zur Abscisse abfallen, indem die Ermüdungslinie kleinster Intervalle den steilsten Verlauf nimmt."

„Ein frischer Muskel zeigt daher kaum merkliche Differenzen seiner Zuckungshöhen bei verschiedenen Zuckungsintervallen, weil die Ermüdungslinien gegen den Anfangspunkt hin convergiren."

„Am Schlusse einer Arbeitsreihe wachsen die Zuckungshöhen mit den Ruhezeiten beträchtlich."

Bei den Berechnungen der Summationshöhen sind immer die Höhen der beiden componirenden Zuckungen als gleich vorausgesetzt worden. Natürlich ist auch bei unseren Versuchen stets darauf geachtet worden, dass die Probezuckungen, welche vom ersten und zweiten Reizcontacte ausgelöst wurden, gleich hoch seien. Aber die Probezuckungen folgten einander in längeren Zwischenzeiten, während sie bei den Summationsversuchen nur Intervalle von einigen Hunderttheilen einer Secunde zwischen sich hatten.

Aus den angeführten Sätzen ergiebt sich, dass zwei schnell folgende Maximalreize, welche die summirte Verkürzung zusammensetzen, von dem frischen Muskel annähernd gleich hohe Einzelzuckungen auslösen, während der ermüdete Muskel sich nach der kurzen Ruhepause, die wir ihm während

[1] H. Kronecker, Ueber die Ermüdung und Erholung der Muskeln. *Arbeiten aus der physiologischen Anstalt zu Leipzig.* 1871. S. 208, 209, 218.

eines Theils seiner ersten Zuckung gegönnt, nur sehr mangelhaft erholt.

Es wird also beim ermüdeten Muskel die zweite componirende Zuckung um so kleiner ausfallen, je schneller sie der ersten folgt, also in je früherem Stadium der ersten Zuckung sie sich zu dieser addirt. Die Beobachtung, welche durch Fig. 7 illustrirt wird: dass an höherem Orte im Abfalle der ersten Curve aufgesetzte addirte Zuckungen nicht nur relativ, sondern auch absolut niedriger sind, als von tieferen Stellen der ersten Curve sich erhebende, lässt darauf schliessen, dass die Ermüdung mit wachsender Reizfrequenz sehr schnell zunimmt. Auch die beträchtlich grösseren Höhen, welche die Zuckungen erreichen, die sich nahe dem Ende der ersten Curve summiren, werden aus den Ermüdungsgesetzen erklärlich.

„Die Verbindungslinie der Höhenendpunkte eines mit unverändertem Gewichte belasteten, in gleichen Zeitintervallen sich contrahirenden Muskels verläuft geradlinig, bis die Werthe der Höhen kleiner geworden sind, als die Werthe der Dehnung eines einfachen Muskels durch dasselbe Gewicht. Von diesem Punkte ab wird die Verbindungslinie nahezu eine Hyperbel, deren eine Asymptote die Dehnungslinie des ruhenden Muskels ist.“ [1] Dieser Ermüdungsverlauf ist [2] durch die bewiesene Annahme erklärt worden, dass die Elasticität des arbeitenden Muskels nicht an dessen Ermüdung betheiligt ist, dass also die Hülfe, welche die elastischen Kräfte den contractilen leisten, constant bleibt (abgesehen von Structuränderungen, welche die Elasticität für sich schädigen). Wenn also der primär zuckende Muskel schon in das Dehnungsgebiet gelangt ist, wenn ihn die zweite Zuckung ablenkt, so erleichtern ihm die elastischen Kräfte die Anfangsbewegung der Last.

Auf die nun naheliegende Frage, weshalb bei den noch kleineren Reizintervallen, welche die Summationen im Stadium der steigenden Energie bewirken, doch höhere Maxima zu Stande kommen, findet sich die Antwort in der oben S. 18 gegebenen Darstellung der während des Zuckungsverlaufs wechselnden Belastungsverhältnisse.

Der zweite Impuls des noch im Stadium der steigenden Energie befindlichen Muskels trifft eine schon in Bewegung gesetzte Masse und vermag dieselbe daher weiter zu fördern, als wenn er sie ruhend, oder gar in entgegengesetztem Sinne bewegt (im Stadium sinkender Energie) zu überwinden hätte. Es verhält sich der Muskel, während er seine Doppelzuckung im Stadium der steigenden Energie ausführt, wie ein

---

[1] H. Kronecker, a. a. O. S. 237.

[2] A. a. O. S. 239.

weniger belasteter und demgemäss höher zuckender Muskel. Dieses Verhalten musste sich auch beim frischen Muskel geltend machen, dessen Zuckungshöhe ja auch mit verminderter Last zunimmt. In der That haben wir oben SS. 13 und 14 darauf aufmerksam gemacht, dass im aufsteigenden Theile summirte Zuckungen oft höhere Werthe geben als die Helmholtz'sche Regel forderte.

Diese qualitativ betrachtende Erklärung der Einflüsse, welche die Ermüdung auf die Summationsvorgänge übt, kann nicht zu einer quantitativen präcisirt werden, weil nach eingeschobenen längeren Ruhepausen erst zwei oder drei höhere Zuckungen erfolgen, bevor die der neuen Reizfrequenz zugehörige Ermüdungsdifferenz ihren constanten Werth erlangt hat.[1] Es bleibt also ein über ein paar Zuckungen nachwirkender Erholungsrest, welcher in unseren Summationsversuchen, wo nur zwei benachbarte Zuckungen verglichen werden, störend zur Geltung kommt.

Es wäre nun wünschenswerth, mit Hülfe von Versuchen an Muskeln, die gegen Federwiderstände arbeiten, die eben gemachten Erörterungen zu beweisen. Da der Eine von uns aber wegen seiner unaufschiebbaren Abreise die Arbeit hat abschliessen wollen, so muss diese experimentelle Probe einer späteren Untersuchung vorbehalten bleiben.

III. Von der Aenderung der Erregbarkeit, welcher ein submaximal gereizter Muskel für kurze Zeit nach erhaltenem Reize unterliegt.

Wundt[2] hat diesen Gegenstand schon vor mehreren Jahren einer genauen experimentellen Prüfung unterzogen, aber nicht um die mechanischen Verhältnisse der Muskelzuckung zu studiren, sondern um die Modificationen der Erregbarkeit von Nerven während und kurz nach Ablauf einer minimalen, submaximalen oder maximalen Zuckung zu bestimmen. Uns interessiren für die vorliegende Untersuchung folgende Sätze über den Verlauf der Erregung bei sehr kurz dauernden Stromstössen (wie die von uns angewendeten Oeffnungsinductionsströme sind):

1. bei der Prüfung mit Minimalreizen findet man während der Zuckung und nach derselben in der Regel erhöhte Erregbarkeit. Doch

---

[1] A. a. O. S. 221.

[2] Wundt, *Untersuchungen zur Mechanik der Nerven u. Nervencentren.* I. Abth. 1871. Cap. 4, S. 186 u. 187.

kommen an Nerven hoher Leistungsfähigkeit zuweilen auch hier unmittelbar nach dem Ablauf der Zuckung flüchtige Spuren einer Hemmung zum Vorschein.

2. Das regelmässige Bild, welches der Stromstoss mittlerer Stärke gewährt, besteht, selbst wenn die Schliessungsdauer relativ gross ist, in einem Abklingen der Erregung in der Form gesteigerter Erregbarkeit.

3. Ist die Dauer des starken Stromstosses sehr kurz, so ist wieder gewöhnlich während und nach der Zuckung die Erregbarkeit gesteigert.

4. Insbesondere bei der Anwendung schwacher Stromstösse findet man regelmässig, dass die Hemmungserscheinungen durch die in Folge wiederholter Reizung überhandnehmende Asthenie schwinden.

„Als das regelmässige Verhalten des Nerven nach Einwirkung eines momentanen Reizes wird man immerhin dies zu betrachten haben, dass die Erregung selbst mehr oder weniger nach beendeter Zuckung als gesteigerte Erregbarkeit nachklingt. Jene positive Modification, welche man durch häufige Wiederholung momentaner Reize in geeigneten Pausen erzielt, ist demnach nichts anderes als eine Summationswirkung. Während die vorangegangene Reizung noch abklingt, trifft den Nerven ein neuer Reiz, der, indem er stärker wirkt, auch stärker nachklingt u. s. f. Eine Bedingung, unter der man allein die positive Modification beobachtet, ist darum auch die, dass die Intervalle der Reize hinreichend klein seien, um den Nerven jedesmal noch innerhalb des Stadiums der abklingenden Erregung zu treffen.“[1]

Auch in unseren Versuchen, die mit submaximalen Reizen gewonnen waren, machten sich die in obigen Sätzen enthaltenen Erscheinungen bemerklich. Die übergesetzmässigen Höhenwerthe, welche bei Summationen im Stadium der steigenden Energie sich ergeben, wie aus der folgenden Tabelle IV. (S. 40) ersichtlich ist, gleichen den Ueberschreitungen, wie sie auch bei Anwendung von maximalen Reizen auftreten und im vorigen Abschnitte beschrieben und erläutert worden sind.

Man kann die Erhöhung der Summationsmaxima bei maximal gereizten Muskeln unmöglich durch erhöhte Reizbarkeit erklären, ohne den Begriff der „maximalen Reize“ umzustossen. Der Grad der Erregbarkeit kann doch nur bestimmt werden durch das Verhältniss der Grösse des Reizes zur Grösse des Effects, also würde bei verminderter Erregbarkeit der Effect constant erhalten werden können durch entsprechende Reizvergrösserung. Da nun aber maximale Reize so weit gesteigerte Reize sind, dass eine Verstärkung derselben keine grössere Wirkung auszulösen

[1] Wundt, *Mechanik der Nerven und Nervencentren.* II. Abthl. 1876. S. 66.

IV. Tabelle

der Höhenwerthe submaximaler, von frischen Muskeln gezeichneter Zuckungen, die sich im Stadium der sinkenden Energie summiren.

Verhältniss der Ausgangshöhe zur Maximalhöhe der einfachen Zuckung.	Verhältniss der gefundenen zur gesetzmässig berechneten Summationshöhe	Ausgangshöhe. mm	Maximalhöhe einfacher Zuckung. mm	Maximalhöhe der summirten Zuckung. mm	Gesetzmässige Höhe der summirten Zuckung. mm
0·21	1·60	1·0	4·75	9·5	5·75
0·42	1·40	2·0	4·75	9·5	6·75
0·63	1·16	3·0	4·75	9·0	7·75
0·65	0·74	8·5	13·0	6·0	21·5
0·77	0·76	10·0	13·0	17·5	23·0
0·80	0·72	8·0	10·0	13·0	18·0
0·84	1·02	4·0	4·75	9·0	8·75
0·84	0·91	8·0	9·5	16·0	17·5
0·86	0·85	12·5	14·5	23·0	27·0
0·88	0·75	11·5	13·0	18·0	24·5
0·9	0·73	9·0	10·0	14·0	19·0
0·94	1·18	8·0	8·5	19·5	16·5
0·96	0·92	12·5	13·0	23·5	25·5
0·96	0·92	12·5	13·0	23·5	25·5
1·0	0·81	14·5	14·5	23·5	29·0
1·0	0·75	13·0	13·0	19·5	26·0
1·0	0·94	4·75	4·75	9·0	9·50
1·0	0·84	13·0	13·0	22·0	26·0
1·0	0·97	9·5	9·5	18·5	19·0
1·0	0·94	8·5	8·5	16·5	17·0

vermag, so konnte auch vermehrte Erregbarkeit nicht äusserlich merklich werden, sondern nur etwa dadurch, dass die Grenze, an welcher die Reize maximal werden, herabrückt. — Da nun der Eine von uns früher nachgewiesen hat, dass die Intensität der Reize, welche für den frischen Muskel maximale sind, es auch für den ermüdeten bleiben, so tief auch mit der Leistungsfähigkeit die Zuckungsgrösse sinkt, so kann man in keinem Stadium des Arbeitsverlaufs eine Veränderung der Zuckungshöhen auf Rechnung von Erregbarkeitsänderung setzen. Die Fälle, in denen die Summationshöhen der am Ende des Stadiums sinkender Energie super-

ponirten Zuckungen bei maximal gereizten, ganz frischen Muskeln höher als gesetzmässig sind, lassen sich durch das von Fick[1] näher beschriebene Verhalten eines im Anfang seines Tetanus festgehaltenen, dann losgelassenen Muskels erklären. Ein solcher Muskel wirft eine mässige Last viel höher, als wenn er diese sogleich freiheben darf. Es entwickelt sich in ihm grössere Spannung, als dem gehobenen Gewichte entspricht und so wird durch die Elasticitätsentwickelung die Contraction begünstigt.

Bei Anwendung submaximaler Reize erscheinen, wie aus der folgenden Tabelle V ersichtlich, die im Stadium sinkender Energie summirten, überhoben Zuckungen häufiger als bei Application maximaler. Wir sind berechtigt, die übergesetzmässigen Höhen, wie sie hier (und in vielen nicht hier angeführten Fällen) auftraten, zum Theil wohl von erhöhter Reizbarkeit herzuleiten, weil wir häufig gesehen haben, dass die zweite Zuckung höher ward als die erste, obwohl das Reizintervall so gross gemacht war, dass die erste Zuckung gänzlich abgelaufen war, bevor die zweite begann, also gar keine Summation mechanischer Effecte angenommen werden konnte, auch elastische Nachschwingungen nicht mehr merklich waren.

V. Tabelle.

der Höhenwerthe submaximaler, von frischen Muskeln gezeichneter Zuckungen, die sich im Stadium der sinkenden Energie summiren.

Verhältniss der Ausgangshöhe zur Maximalhöhe der einfachen Zuckung.	Verhältniss der gefundenen zur gesetzmässig berechneten Summationshöhe.	Ausgangshöhe. mm	Maximalhöhe einfacher Zuckung. mm	Maximalhöhe der summirten Zuckung. mm	Gesetzmässige Höhe der summirten Zuckung. mm
1·0	0·95	6·0	6.0	11·5	12·0
1·0	0·92	9·5	9·5	17·5	19·0
0·98	0·93	8·25	8·5	15·5	16·75
0·96	0·84	12·5	13·0	21·5	25·5
0·95	0·86	4·5	4·75	8·0	9·25
0·94	0·85	8·0	8·5	14.0	16·5
0·90	0·84	12·75	13·0	21·75	25·75
0·88	0·89	11·5	13·0	22.0	24·5
0·88	0·75	11·5	13·0	18·5	24·5
0·88	0·89	11·5	13·0	22·0	24·5

[1] *Muskelarbeit.* 1867. S. 58.

Verhältniss der Ausgangshöhe zur Maximalhöhe der einfachen Zuckung.	Verhältniss der gefundenen zur gesetzmässig berechneten Summationshöhe.	Ausgangshöhe. mm	Maximalhöhe einfacher Zuckung. mm	Maximalhöhe der summirten Zuckung. mm	Gesetzmässige Höhe der summirten Zuckung. mm
0·85	0·99	8·5	10·0	18·0	18·5
0·83	0·86	5·0	6·0	9·5	11·0
0·77	0·91	10·0	13·0	11·0	23·0
0·74	0·96	7·0	9·5	16·0	16·5
0·73	0·77	9·5.	13·0	17·5	22·5
0·69	0·99	9·0	13·0	10·0	22·0
0·65	0·93	8·5	13·0	20·0	21·5
0·63	0·90	3·0	4·75	7·0	7·75
0·60	1·31	6·0	10·0	16·5	16·0
0·50	0·79	6·5	13·0	15·5	19·5
0·42	1·0	5·5	13·0	18·5	18·5
0·40	1·10	4·0	10·0	15·5	14·0
0·38	1·03	5·0	13·0	18·5	18·0
0·37	1·12	3·5	9·5	14·0	13·0
0·34	1·10	5·0	14·5	21·5	19.5
0·33	0·94	2·0	6·0	7·5	8·0
0·31	0·85	4·0	13·0	14·5	17·0
0.19	1·0	2·5	13·0	15·5	15·5
0·15	1·0	2·0	13·0	15·0	15·0
0·12	1·03	1·5	12·5	14·5	14·0
0·11	0·83	1·5	13·0	12·0	14·5
0·0	1·10	0·0	10·0	11·0	10·0
—0·12	1·08	—1·5	13·0	12·5	11·5
—0·16	1·13	—1·5	9.5	9·0	8·0

Die summirende Wirkung der Elasticität erhellt wie bei den maximalen, so auch bei submaximalen Summationszuckungen aus der übergesetzmässigen Grösse der Werthe am Ende der Tabelle, welche sich auf Summationscurven beziehen, die von unterhalb der Abscisse gelegenen Orten ausgehen.

IV. Ueber den Erregungsrest (Contractur), welcher zu den folgenden Contractionen sich addiren kann.

Kühne[1] hat gezeigt, dass auf Quecksilber schwimmende Muskeln nach beendigtem Tetanus nur sehr mangelhaft sich wieder ausdehnen. Schiff und Hermann haben die unvollkommene Wiederverlängerung in niederem Grade an aufgehängten schwachbelasteten Muskeln beobachtet. Diese Vorgänge sind unzweifelhaft als mechanische aufzufassen, ganz ähnlich wie die verlangsamte Erschlaffung beim ermüdeten Muskel, welcher Valentin[2] freilich einen Antheil an der Arbeitsleistung zuweisen wollte.

Wesentlich verschieden von diesem Verkürzungsrückstand ist der in seiner äusseren Erscheinung ähnliche Zustand des Muskels, welchen Tiegel[3] als Contractur bezeichnet und näher untersucht hat, nachdem schon Helmholtz[4] eine hierauf bezügliche Bemerkung gemacht und der Eine von uns die absonderliche Reizbarkeitserscheinung beschrieben hatte[5], welche sich derart äussert, dass während längerer Ruhepausen (bis 10 Sec.) die Muskeln zwischen rhythmisch folgenden einfachen Inductionsreizen zuweilen ziemlich beträchtlich verkürzt bleiben. Dieser Vorgang ist dadurch von einem mit der Ermüdung vergleichbaren wesentlich verschieden, dass er mit der ferneren Function des Muskels nicht zu- sondern abnimmt. Tiegel hat gefunden, dass solche Contractur nur bei directer Muskelreizung auftritt, und dass während dieses Zustandes die Erregbarkeit des Muskels für seinen normalen vitalen Reiz (durch seinen motorischen Nerven) eine minimale geworden ist, während die Contractur selbst (von maximaler Heftigkeit bei Märzfröschen) eben so gross wird, wie die mit ihr zusammen ausgelöste Zuckung. Auch im Blutkreislauf befindliche Muskeln zeigten die Contractur und zwar um so stärker, je intensiver die Reize waren, welche sie trafen. Ferner giebt Tiegel an, dass „die Contractur mit der Zeit und unabhängig von weiteren Reizen abklingt." Endlich hat Tiegel nachgewiesen[6], dass die Dehnung des in Contractur befindlichen Muskels bis zu seiner natürlichen Ruhelänge durch viel kleineres Gewicht bewerkstelligt werden konnte, als für gleiche Dehnung des ruhenden Muskels erforderlich war; doch fügt er hinzu,

---

[1] *Dies Archiv.* 1859. S. 815.
[2] Valentin, *Physiologische Pathologie der Nerven.* 1864. S. 191.
[3] Pflüger's *Archiv* u. s. w. 1876. Bd. XIII. S. 71.
[4] *Dies Archiv.* 1850. S. 280.
[5] *Berichte der Berliner Akademie.* 1870. S. 629.
[6] Tiegel, a. a. O. S. 82.

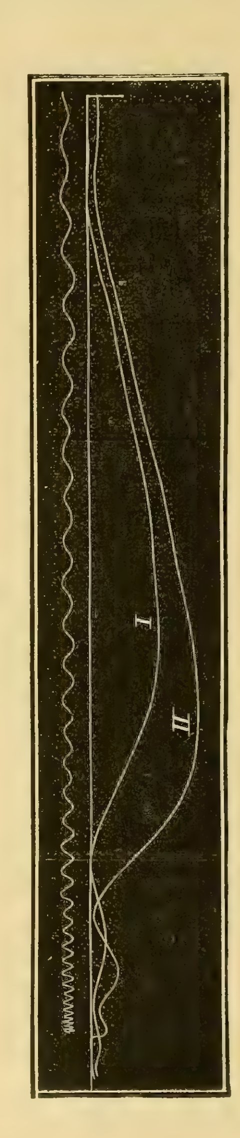


Fig. 8.

Curve 1 einfache Zuckung des Triceps femoris. Curve 2 durch gleichen Reiz ausgelöst, 1 Secunde nachdem 10 Reize im Intervall von $^1/_{100}''$ den Muskel vom Plexus ischiadicus aus tetanisirt hatten.

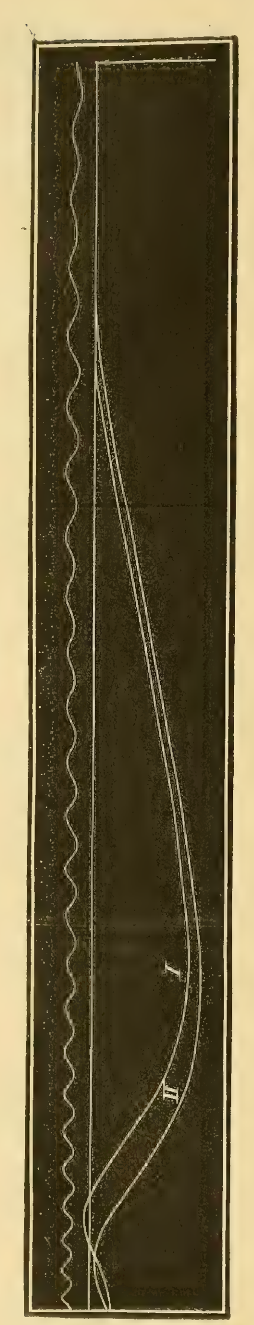


Fig. 9.

Curve 1 einfache Zuckung des Triceps femoris. Curve 2 durch gleichen Reiz ausgelöst, 5 Secunden nachdem 10 Reize im Intervall von $^1/_{100}''$ den Muskel vom Plexus ischiadicus aus tetanisirt hatten.

dass auch kurz dauernde, starke Belastung, welche die Contractur überwindet, den Muskel dauernd zur Ruhelänge bringt, in welcher er verharrt, auch nachdem das Ueberdehnungsgewicht wieder abgenommen ist.

Es ist demzufolge die Contractur nicht mit dem „Verkürzungsrückstand" identisch, welchen Hermann als einen „durch gewisse Abnormitäten, wie starke Ermüdung, Absterben, Ernährungsstörungen und viele Gifte bedingten Uebergangszustand zur Todtenstarre"[1] auffasst.

Einen zwingenden Beweis dafür, dass die Contractur als ein activer Zustand anzusehen ist, konnten wir dadurch führen, dass wir den Muskel im Stadium der Contractur durch einen neuen Reiz treffen liessen.

Wenn die Contractur ein passiver Zustand wäre, so würde ein von derselben befallener Muskel auf neuen Zuckungsreiz etwa so reagiren müssen, wie ein Muskel, dem seine Last so hoch unterstützt wird, dass er sie erst abhebt, wenn er seinem Verkürzungsmaximum nahe ist. Für den Fall aber, dass die Contractur ein activer Vorgang ist, konnte man erwarten, dass ein neuer Reiz, zu der dauernden Erregung addirt, dieselbe vermehren würde.

Die an erregbaren Frühlingsfröschen angestellten Versuche liessen keinen Zweifel darüber, dass der in Contractur befindliche Muskel, auch wenn er vom Nerven aus gereizt war, einen Reiz stärker beantwortet, als ein zuvor ruhender Muskel. Unsere Experimente sind auf zweierlei Weise ausgeführt worden. Die eine Reihe wurde derart angestellt, dass der Muskel zuerst eine maximale Zuckungscurve zeichnen musste, dass er hierauf durch eine Reihe von Inductionsschlägen im Intervall von $^1/_{100}{}''$ tetanisirt wurde und endlich, nach mehreren Secunden Ruhe, eine zweite Maximalzuckung, unter sonst gleichen Umständen wie die erste, zu notiren hatte. Die folgenden 3 Figuren machen das Anfangs-, Mitte- und Endstadium eines nach kurzem Tetanus abklingenden Erregungszustandes deutlich.

In Fig. 8 (S. 44) ist die Curve I kurz vor dem Tetanus, die Curve II eine Secunde nach Beendigung des kurzen Tetanus gezeichnet worden. Die höhere Abscissenlinie, von welcher die Curve II ausgeht, zeigt den Verkürzungsrest vom jüngst vergangenen Tetanus. Es ist ohne Maassangabe ersichtlich, dass die Maximalhöhe der zweiten Curve das Maximum der ersten Curve bedeutend mehr als um das Hebungsstück der Abscisse übertrifft.

Die nebenstehende Figur (Fig. 9) zeigt den Erregungsrest, welcher in diesem Falle 5 Sec. nach der Beendigung eines Tetanus von $^1/_{10}$ Sec. Dauer geblieben war. Noch immer ist die zweite Curve wesentlich höher

---

[2] Hermann, *Handbuch der Physiologie.* 1879. Bd. I, Theil 1, S. 251.

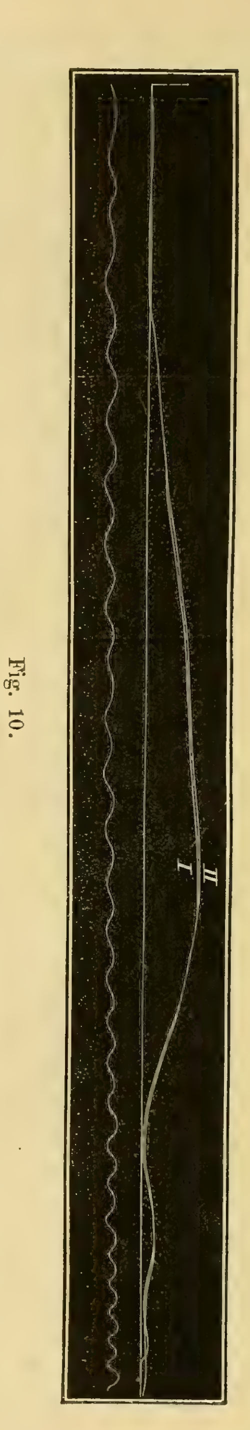


Fig. 10.

Curve 1 einfache Zuckung des Triceps femoris. Curve 2 durch gleichen Reiz ausgelöst, 9 Secunden nachdem 10 Reize im Intervalle von $^1/_{100}$'' den Muskel vom Plexus ischiadicus aus tetanisirt hatten.

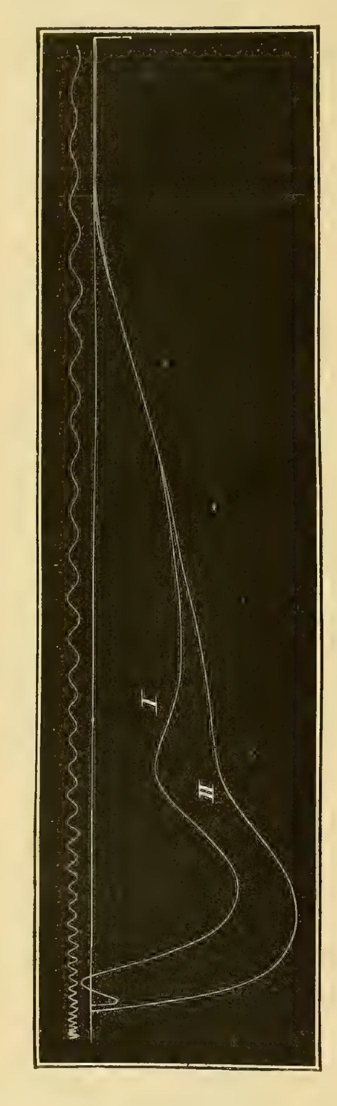


Fig. 11.

Curve 1 einfache Zuckung des Triceps femoris. Curve 2 durch gleichen Reiz ausgelöst, 15 Secunden nachdem 50 Reize im Intervalle von $^1/_{100}$'' den Muskel vom Plexus ischiadicus aus tetanisirt hatten.

als die erste. Auffallend ist hierbei auch die Verkürzung der Dauer der latenten Reizung.

Erst 9 Sec. nach dem Tetanus hat der Muskel seine normale Ruhe annähernd wiedergefunden, wie die nebenstehende Figur 10 lehrt.

Noch deutlicher, als auf den Verlauf einfacher Zuckungen, wirken tetanische Anfälle auf den Verlauf von Doppelzuckungen.

Die Doppelcurve I in Figur 11 ist von einem Triceps femoris gezeichnet worden, welchem 50 Inductionsschläge in $^1/_{100}$ Sec. Intervall zugeführt wurden. Noch 15 Sec. nach Beendigung dieses Tetanusanfalls macht sich die nachwirkende Erregung geltend. Die Doppelcurve hebt von dem Ausläufer der Tetanuscurve an, übertrifft dann weit das Maximum der ersten Doppelcurve.

Diesen Erscheinungen liegen unzweifelhaft Summationserregungen zu Grunde, nicht „Steigerung der Erregbarkeit“. Die Contractionen von Muskeln, die unter dem Einflusse früherer Erregungen innervirt worden, sind fundamental verschieden von den Zuckungen, welche ein Muskel höchster Leistungsfähigkeit, vom Nerven höchster Erregbarkeit gereizt, zu liefern vermag.

Solche Summationsvorgänge, die in peripheren Nerven nur in beschränktem Maasse auftreten, sind sehr verbreitet in der Sphäre der nervösen Centralorgane. Der lange Starrkrampf, welchen ein einziger Inductionsschlag an dem mit Strychnin vergifteten Frosche auszulösen vermag, kann nicht durch „gesteigerte Erregbarkeit des Rückenmarks“ erklärt werden, ebensowenig kann die vom „periodisch schlagenden“ Froschherzen durch einen Reiz auslösbare Reihe von Pulsen diesem ersten Antrieb als allein wirkende Ursache zugeschrieben werden, nicht minder endlich sind die durch Hautreize ausgelösten Athembewegungen Summationseffecte.

---

[1] Nachträgliche Bemerkung. Mehrere Wochen, nachdem die vorliegende Arbeit gedruckt war und auch Probeabzüge derselben (am 1. September) nach Amerika geschickt worden waren, erhielten wir von Hrn. Sewall dessen im physiologischen Institut zu Baltimore ausgeführte Arbeit: „On the effect of two succeeding stimuli upon muscular contraction“ (*Journal of Physiology*, Vol. II, No. 2). Diese wichtige Untersuchung zeigt so mannigfache Analogien mit der unsrigen, dass ein näheres Eingehen auf den Inhalt derselben nicht möglich wäre, ohne unsere Abhandlung umzuarbeiten.

Ueber die Selbststeuerung der Athembewegungen.

Von

Dr. Oscar Langendorff.

Aus dem physiologischen Laboratorium in Königsberg i. Pr.

Hering und Breuer hatten bekanntlich gefunden, dass das Zusammensinken der Lungen als inspiratorischer, die Ausdehnung derselben als exspiratorischer Reiz wirkt. Der erste Theil dieses Satzes ist von allen späteren Beobachtern bestätigt worden; gegen den zweiten haben Guttmann und Gad, sowie O. Rosenbach Einspruch erhoben, die Ersteren auf Grund entgegengesetzter Versuchsergebnisse, der Letztere aus mangelnder Uebereinstimmung in der Deutung der beobachteten Erscheinungen.

Da mit der Anerkennung des ganzen Hering-Breuer'schen Gesetzes die Lehre von der Selbststeuerung der Athmung steht und fällt, so erscheint eine nochmalige Prüfung desselben sehr wünschenswerth. Ich habe eine solche um so eher unternommen, als ich mich in früheren Versuchen [1] überzeugt hatte, dass man nicht berechtigt ist, dem N. vagus athmungshemmende oder exspiratorische Fasern abzusprechen.

Ich theile hier nur diejenigen Versuche mit, die ich zur Prüfung des zweiten Theiles des Hering-Breuer'schen Gesetzes unternommen habe.

Ich habe zuerst an Kaninchen experimentirt, die bald schwach, bald stark mit Chloralhydrat narkotisirt waren, und ich bin dabei zu so widersprechenden Ergebnissen gelangt, dass ich an der Feststellung einer bestimmten Gesetzlichkeit schon verzweifelte. Als ich meine Versuche darauf an nicht betäubten Thieren anstellte, war der Erfolg ein so con-

[1] Der Einfluss des Nervus vagus und der sensiblen Nerven auf die Athmung. *Mittheil. aus dem Königsberger physiologischen Laboratorium.* 1878. S. 33.

stanter, dass ich mich nicht erinnere, unter vielen Versuchen auch nur einer einzigen Ausnahme von dem sogleich zu schildernden Verhalten begegnet zu sein.

Dass der Versuch bei tiefster Chloralnarkose auch einen ganz bestimmten Erfolg hat, davon überzeugte ich mich später. —

Ich kann Guttmann nicht beistimmen, wenn er die Lufteinblasung während des apnoischen Zustandes für den Cardinalversuch Breuer's erklärt. Ob man es bei der Apnoe wirklich mit nichts, als mit einer Sauerstoffüberladung des Blutes zu thun hat, steht keineswegs ausser allem Zweifel.[1] Ist das aber auch der Fall, so sind doch bei der Einleitung einer solchen Apnoe durch wiederholte Lufteinblasungen Momente eingeführt, die auf den Erregbarkeitszustand der intrapulmonalen Vagusfasern von Einfluss sein müssen. Und auf Reizung dieser kommt es ja beim Aufblasungsversuche an. Wenn man den Einfluss eines Inductionsschlages auf einen motorischen Nerven untersuchen will, so wird man sich hüten, denselben vorher durch wiederholte schwache Reizung auf den Versuch vorzubereiten.

Will man durchaus, wozu übrigens gar kein Grund vorhanden, in der Apnoe einblasen, so thut man besser, letztere durch kurze Reizung des Trigeminus durch Chloroform herbeizuführen. Dieses Verfahren ist, wenn auch nicht ganz vorwurfsfrei, doch müheloser, erfolgreicher (in Bezug auf die Dauer des dadurch zu erzielenden Athmungsstillstandes) und lässt wenigstens den Vagus in Ruhe.

Das einfachste aber ist, an dem ruhig athmenden Thiere zu operiren, hier durch eine forcirte Einblasung den normalen Vorgang zu steigern, zu übertreiben, also so zu verfahren, wie man gewöhnlich bei der Feststellung einer Nervenwirkung verfährt.

Meine Versuche wurden in folgender Weise angestellt:

Bei einem kleinen Kaninchen wird eine Canüle mit Gummischlauch in die Luftröhre eingebunden; darauf wird eine Seite des Thorax durch einen kleinen Längsschnitt in einem Zwischenrippenraume eröffnet, und in die Oeffnung eine Ludwig'sche Doppelcanüle, wie sie bei Blutdruckversuchen Verwendung finden, luftdicht eingeschraubt. Das freie Ende dieser Canüle führt zu einem Wassermanometer, welches die respiratorischen Druckschwankungen in der Brusthöhle deutlich zu erkennen giebt. Wird graphische Aufzeichnung dieser Schwankungen beabsichtigt, so ist das Manometer mit einer specifisch schwereren Flüssigkeit (Salzlösung, verdünntes Glycerin) gefüllt, und es bewegt sich auf dem freien Schenkel des Manometers ein feiner Glasschwimmer mit Schreibfeder.

---

[1] Vgl. z. B. Hoppe-Seyler, *Physiol. Chemie.* III. Theil. S. 520. 1872.

Es ist einleuchtend, dass der Schwimmer bei jeder Exspiration steigt, bei jeder Inspiration sinkt — mag die Trachealcanüle offen oder geschlossen sein; dass er ferner bei Einblasungen in die Lunge steigt, bei Ansaugung aus derselben sinkt.

Wird nun einem so vorbereiteten Thiere Luft in die Trachea eingeblasen, nach der Einblasung aber die Trachealcanüle verschlossen, so sieht man constant Folgendes:

Die Manometerflüssigkeit wird durch die Aufblasung der Lunge in die Höhe getrieben; nachher steigt sie langsam an, erreicht ein gewisses über die Abscissen weit emporsteigendes Maximum, und verharrt auf diesem eine Zeit lang. Oeffnet man während dieses Zeitraumes die Luftröhrencanüle, so sinkt naturgemäss die Wassersäule rapide ab, und zwar häufig, besonders wenn der Collaps der Lunge ein sehr plötzlicher ist, unter die Abscisse. In manchen Fällen wird mehrere Secunden andauerndes Verharren auf diesem Minimumstande

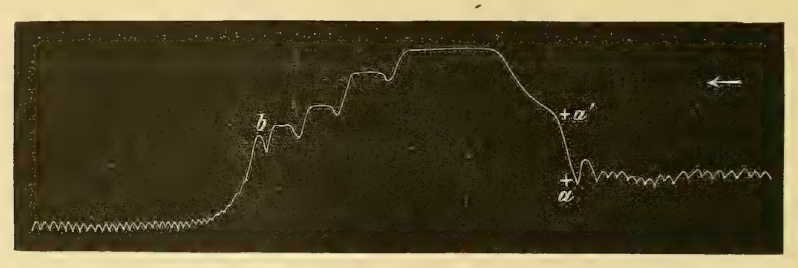


Fig. 1.
a — a' Einblasung.
b Athmungsschlauch geöffnet.

beobachtet. Hat man während des Maximums die Luftröhrencanüle verschlossen gehalten, so erfolgt nach Ablauf längerer oder kürzerer Zeit ein kleines ruckweises Absinken, diesem folgt wieder ein leichtes Ansteigen, Pause u. s. f. Der absteigende Schenkel der Curve hat somit die Gestalt einer Treppe mit breiten Stufen.

Fig. 1 gehört einem Versuche an, in welchem an einem sehr jungen nicht narkotisirten Kaninchen operirt wurde.

Der Schwimmer zeichnete auf das unendliche Papier des Ludwig'schen Kymographions. Höhe und Dauer der Einblasung ist durch *a a'* bezeichnet. Bei *b* wurde die Trachealcanüle freigegeben. —

Ueber die Bedeutung solcher Erscheinungen kann kein Zweifel obwalten:

> Auf die Einblasung folgt eine langsam sich steigernde active Exspiration. Das Thier verharrt dann eine Zeit lang auf der Höhe der Exspiration. Dann beginnt die Ath-

mung wieder, und zwar mit beschleunigtem Rhythmus bei freigegebener, mit verlangsamtem bei verschlossen gehaltener Trachealcanüle.

Beschränkt man sich unter Beiseitelassung des Manometers auf die blosse Beobachtung des Thieres, so sieht man nach der Einblasung die Rippen langsam herabsteigen, die Bauchmuskeln sich contrahiren. Ist die Bauchhöhle eröffnet, so sieht man gleichzeitig mit den Rippen das Zwerchfell noch stärker nach unten gehen. Es wird Niemand diese Bewegung für eine inspiratorische halten, denn der Zwerchfellmuskel ist dabei völlig erschlafft. Er wird nur durch die exspiratorische Wirkung der Thoraxmuskeln als der nunmehr allein nachgiebige Theil des Brustkorbes passiv nach unten gedrängt.[1]

Man kommt bei Anstellung dieser Versuche leicht auf den Gedanken, es sei auch das Hinabgehen der Rippen und die Contraction der Bauchmuskeln ein passiver Act, hervorgebracht durch die Tendenz dieser Theile, ihr durch die Aufblasung der Lunge gestörtes elastisches Gleichgewicht wiederzugewinnen.

Eine solche Deutung ist aber hinfällig aus folgenden Gründen:

1. Am frischgetödteten Thiere bleibt der Thorax bei der Aufblasung in der ihm durch diese ertheilten Stellung: die Rippen gehen hier nicht nach unten, die Bauchhöhle wird nicht verengt;

2. Die beschriebenen Erscheinungen fehlen sämmtlich nach Durchschneidung der beiden Vagi;

3. sie sind dagegen vorhanden, wenn man vor dem Versuche den Thorax ausgiebig eröffnet hat, in welchem Falle von einer insufflatorischen Rippenhebung nichts zu sehen ist. —

In Bezug auf die Contraction der Bauchmuskeln nach der Einblasung befinde ich mich nicht nur mit Breuer und mit Lockenberg, sondern auch mit Rosenbach in thatsächlicher Uebereinstimmung. Nach letzterem Autor soll aber diese Contraction „nur ihrem zeitlichen Auftreten und ihrer Wirkung nach einer Exspiration gleichen, ihrem Wesen nach (?) aber ein selbständiger, mit dem Ablauf der Athembewegungen nicht direct in Verbindung stehender Vorgang“ sein. Die Zusammenziehung der Bauchmusculatur soll zu Stande kommen durch die bei der Aufblasung der Lungen eintretende Dehnung und dadurch bewirkte Reizung dieser Muskeln — ähnlich wie das sogenannte Unterschenkelphänomen durch mechanische Reizung des Quadriceps.

Ein sehr einfacher Versuch lehrt, dass Dehnung der Bauchmuskeln nicht im Stande ist, die Bauchmuskeln zur Contraction anzureizen. Ich

[1] Vgl. J. Rosenthal, *Die Athembewegungen* u. s. w. 1862. S. 49.

legte bei einem Kaninchen eine Canüle anstatt in die Trachea in die Bauchhöhle ein. Wurde jetzt in sie Luft hineingeblasen, und dann abgesperrt, so ging die Athmung ganz wie vorher, nur ein wenig schneller, fort; die Bauchmuskeln machten keine Spur von Bewegung, Die Aufblasung des Abdomens konnte sogar sehr beträchtlich sein.

Ich habe diesen Versuch hauptsächlich deshalb angestellt, um zu sehen, ob vielleicht die inspiratorische Dehnung der Bauchmuskeln in ähnlicher Weise als exspiratorischer Reiz wirkt, wie die der Lungen, und möglicherweise (nach Breuer) die des Thorax. Wäre ein Erfolg vorhanden gewesen, so hätte ich freilich weit eher an einen reflectorischen Vorgang gedacht, wie an eine directe Reizung.

Die bisher mitgetheilten Aufblasungsversuche sind an nicht betäubten Thieren angestellt worden. Hat man dieselben dagegen, wie Guttmann und Gad es thaten, vorher durch Chloralhydrat tief narkotisirt, so ist das Bild ein anderes. Auf die Einblasung von Luft in die

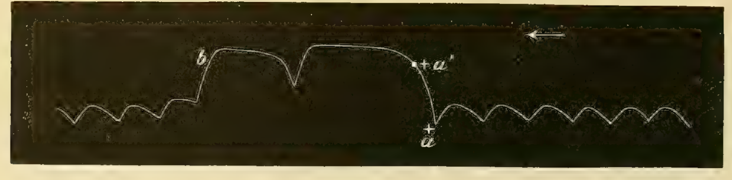


Fig. 2.

Lungen folgt nur eine schwache Exspirationsbewegung, dann ein Athmungsstillstand, der an Dauer den bei nicht betäubten Thieren eintretenden weit übertreffen kann: ich sah in einem Falle die Athmung 67″ lang stillstehen. Im Uebrigen verhielten sich die Thiere wie die nicht narkotisirten.

Zuweilen fehlt die Exspirationsbewegung gänzlich; der Athmungsstillstand schliesst sich an die Einblasung unmittelbar an. Wahrscheinlich hängt ihr Eintritt ab von der Athmungsphase, in welcher die Einblasung das Thier traf:[1] Fiel der Abschluss des Trachealschlauches mit einer Inspiration zusammen, so musste der Thorax erst die Exspirationsstellung einnehmen, bevor er zur Ruhe kam; während beim Zusammenfallen mit einer Ausathmung der Thorax gleich in seiner „Endstellung“ verharrte. Jedenfalls muss man auch hier die Einwirkung der Lungenaufblasung als eine inspirationshemmende bezeichnen;

[1] Man könnte sich vorstellen, dass die in den Lungen sich stärker erwärmende, in Folge dessen sich ausdehnende Luft die Manometersäule in die Höhe treibt. Diese Deutung wird aber schon dadurch widerlegt, dass ich meine eigene warme Exspirationsluft in die Lungen blies.

und indem man sich vergegenwärtigt, dass zur Documentirung einer exspiratorischen Wirksamkeit die Hervorbringung activer Exspirationsbewegungen kein unbedingtes Erforderniss ist, kann man auch hier von einer exspiratorischen Wirkung reden.

Wir erkennen jetzt, wodurch Guttmann und Gad verleitet wurden, anzunehmen, dass Lungenaufblasung active Exspirationen nicht hervorzubringen vermöge. Der Grund liegt in der tiefen Chloralnarkose, der sie ihre Versuchsthiere unterwarfen. Offenbar wurden sie zur Anwendung derselben veranlasst durch die Besorgniss, durch selbständige Respirationsbewegungen getäuscht zu werden. Ich habe aber einerseits während der Einblasung beim nicht betäubten Thiere nur äusserst selten irgend welche selbständigen Bewegungen gesehen, und andererseits mich durch Versuche überzeugt, dass auch nach Ausschaltung aller Willkürbewegungen am nicht narkotisirten Thiere der Versuch genau ebenso gelingt, wie am unversehrten. Ich entfernte nämlich vor dem Versuche die Grosshirnhemisphären, und sah auch dann den Aufblasungsversuch ebenso glücken, wie in den früheren Versuchen; die active Exspiration war nicht minder kräftig. —

Was nun den Grund für das Fehlen stärkerer Exspirationsbewegungen und das Auftreten eines langen Einblasungsstillstands bei tiefster Chloralnarkose betrifft, so ist dieser wahrscheinlich in einer Schwächung sowohl des inspiratorischen als des exspiratorischen Theiles des nervösen Athmungsapparates zu suchen. Dass eine solche existirt, beweist schon die oft excessive Verlangsamung der Athmung bei tiefster Narkose. Während der Aufblasung ist der dadurch gesetzte, sonst so kräftige Exspirationsreiz nicht mehr im Stande, eine active Ausathmung herbeizuführen. Seine Wirksamkeit beschränkt sich auf die Veranlassung einer Athmungspause; und der daneben vorhandene Inspirationsreiz muss erst zu einer ungewöhnlichen Höhe anschwellen, um das sonst leichter von ihm überwundene Hinderniss zu beseitigen.

Ich bin in vorliegenden Versuchen somit zu Ergebnissen gelangt, die mir die Richtigkeit auch des angefochtenen Theiles der Hering-Breuer'schen Angaben ausser Zweifel zu setzen scheinen. Ich halte es für überflüssig, einige Abänderungen des Versuchsverfahrens zu erwähnen, die die gewonnenen Erscheinungen nur bestätigt haben. Gegenüber den sinnreichen Versuchsmodificationen der Breuer'schen Arbeit bringen sie doch nichts wesentlich Neues.

Königsberg i. Pr., 30. Juli 1879.

Ueber die reflectorische Innervation der Blutgefässe des Frosches.

Von

Max Joseph,
stud. med.

Aus dem physiologischen Institut in Königsberg i. Pr.

Im Wintersemester 1878—79 stellte ich auf Anregung des Hrn. Dr. Langendorff eine Reihe von Versuchen über das angegebene Thema an. Die von mir benutzte Versuchsmethode war folgende:

Es wurde zu den Versuchen immer Rana esculenta verwandt; nachdem die Frösche curarisirt waren, wurde der N. ischiadicus präparirt und peripher unterbunden, sein centrales Ende mit Ludwig'schen Elektroden versehen, darauf das Herz freigelegt und in einen der beiden Zweige des Aortenbulbus eine Glascanüle eingeführt, die mit einem Manometer in Verbindung stand. Das Manometer war mit einer Sodalösung oder mit einer Mischung von Soda und verdünnten Glycerin, die ich zuweilen sehr vortheilhaft fand, gefüllt.[1] Die Canüle war hinter der Einbindungsstelle zu einer Kugel aufgeblasen. Diese nahm etwaige kleine Gerinnsel auf und hielt so lange Zeit hindurch die Bahn frei. Einige Male benutzte ich statt des Sodamanometers den neuen Wellenzeichner von Fick,[2] doch dürfte dieser sich beim Frosche mehr zur Darstellung der Pulsform als zur Verzeichnung gröberer Druckschwankungen eignen.

---

[1] Die Mischung enthielt Glycerin. pur. 10 ccm, Sol. Natri carb. conc. 5 ccm, Aqua destillata 50 ccm, das specifische Gewicht der Mischung war = 1·044.

[2] Fick, *Ein neuer Wellenzeichner*. Gratulationsschrift für Rinecker. 1877. S. 15.

I. Ueber reflectorische Blutdrucksteigerung beim Frosche.

Nachdem durch zahlreiche Untersuchungen der neueren Zeit die Lehre von der reflectorischen Erregung der Gefässmuskeln so ausführlich für den Warmblüter behandelt war, lag es, im Hinblick auf die nahen Beziehungen zwischen vasomotorischen Apparaten und Wärmeregulation, nahe zu sehen, ob beim Frosche trotz des Mangels der letzteren für die Gefässinnervation ähnliche Gesetze gelten, wie für das Säugethier. Dies festzustellen bezweckten meine Versuche; durch manometrische Untersuchungen hoffte ich hierüber bessere Auskunft zu erhalten, wie durch mikroskopische Beobachtung der Gefässwände, die von den früheren Beobachtern (Saviotti, Pick,[1] Riegel,[2] Nussbaum[3] und Gaskell[4]) vorgezogen worden war.

1. Einfluss der elektrischen Reizung des N. ischiadicus.

Sobald der Nerv gereizt wurde, machte sich stets eine Erhöhung des Blutdruckes bemerkbar, doch stellte sich ein Unterschied bei der Anwendung schwacher und starker Ströme heraus.

Bei der Benutzung schwacher unterbrochener Inductionsströme (1 Daniell XX bis X cm Spiralenabstand) steigt der Blutdruck oft um ein Beträchtliches; auf einem Maximum angelangt, verharrt er daselbst bei Fortdauer der Reizung; hört dieselbe auf, so sinkt die Flüssigkeitssäule entweder gleich ab, oder der Druck bleibt eine Zeit lang constant, um dann wieder zu der Normalhöhe, oft sogar unter dieselbe zu sinken. Hört die Reizung vor Erreichung des Druckmaximums auf, so dauert das Steigen noch ein wenig fort, dann sinkt der Druck, ohne längere Zeit auf der Höhe zu verweilen. Bei längerer Reizungsdauer wird somit für die Gefässweite gewissermaassen ein neuer Gleichgewichtszustand geschaffen, der sich in einer durch die Reizungsgrösse bestimmten Höhe über den alten erhebt. Wellenartige Schwankungen um das Maximumniveau habe ich bei schwachen Strömen nicht gesehen. Solche Wellen sind auch beim nicht gereizten Frosche für gewöhnlich nicht wahrnehmbar; zuweilen aber, besonders nach voraufgegangener Rückenmarksdurchschneidung treten sie mit grosser Deutlichkeit, doch anscheinend ohne

---

[1] Pick, *Ueber reflectorische Innervation der Gefässe.* Diss. Berlin 1873.

[2] Riegel, Ueber die reflectorische Innervation der Blutgefässe. *Wien. med. Jahrb.* N. F. I. S. 92.

[3] Pflüger's *Archiv* u. s. w. Bd. X. 1875.

[4] *Journal of anatomy and physiology.* Vol. XI. p. 720.

besondere Regelmässigkeit auf. Vielleicht ist ihr Erscheinen hierbei durch unbeabsichtigte Reizung des Rückenmarksquerschnittes bedingt.

Wenn ich mit starken Strömen[1] reizte (1 Daniell X bis 0 cm Spiralenabstand), erfolgte die Steigerung des Blutdruckes steiler wie bei schwacher Reizung, auch war sie im Allgemeinen beträchtlicher, meist aber sank selbst bei kurzdauernder Reizung noch während derselben der Druck herab, sogar manchmal unter das Normalniveau. Dauerte die Reizung noch weiter an, so erhob sich zuweilen der gesunkene Blutdruck von Neuem, um dann wieder abzusinken. Dies beweist, dass die Erscheinung nicht auf Ermüdung der gereizten Nerven zu beziehen ist; eine Erholung derselben bei fortdauernder Reizung ist nicht wohl denkbar. Wahrscheinlich hat man auch beim stark gereizten Frosche an einen Kampf zwischen constrictorischen und dilatatorischen Impulsen zu denken und die Entstehung der Wellen auf dieselben Momente zu beziehen, die Latschenberger und Deahna[2] für die Erklärung derselben beim Säugethier angeführt haben. Bei schwacher Reizung ist ein Absinken während der Reizung nur bei sehr langer Dauer derselben (über 3 Minuten) bemerkbar. Eine Wiedererhebung tritt hier nicht ein, man hat es also wahrscheinlich mit Ischiadicusermüdung zu thun.

2. Einfluss der mechanischen und chemischen Reizung.

Bei der Durchschneidung des N. ischiadicus gelang es mir stets, eine Blutdruckerhöhung zu erhalten, sie war allerdings nur sehr vorübergehend und meist sehr gering. Latschenberger und Deahna[3] dagegen sahen in sieben Versuchen fünfmal Drucksenkung und nur zweimal Drucksteigerung der Ischiadicusdurchschneidung folgen.

Ebenso konnte ich durch leichtes Bestreichen der Haut mit einem Pinsel, durch Kneifen der Pfote, durch Reizung der Haut mit Ammoniak eine oft recht bedeutende Blutdruckerhöhung erzielen.

II. Ueber den Ort der Gefässverengerung.

Eine weitere Versuchsreihe wurde angestellt, um zu sehen, auf Kosten welcher Gefässgebiete die reflectorische Drucksteigerung zu Stande

---

[1] Der Täuschung durch Stromschleifen, welche leicht die Gefässwandungen selbst, wie die Medulla oblongata oder das Rückenmark treffen konnten, war durch die bekannten Cautelen vorgebeugt.

[2] Pflüger's *Archiv* u. s. w. Bd. XII. 1876.

[3] A. a. O.

kommt. Beim Säugethiere weiss man bekanntlich seit den Untersuchungen von Heidenhain und Grützner,[1] dass Haut- und Muskelgefässe für die reflectorische Drucksteigerung nicht verantwortlich gemacht werden können, aber die Versuche der genannten Forscher haben ausserdem das merkwürdige Resultat ergeben, dass selbst Ausschaltung des Splanchnicusgebietes die reflectorische Drucksteigerung nicht beeinträchtigt. Beim Frosche sieht man, guten Beobachtern zu Folge, auf sensible Reizung Haut- und Muskelgefässe sich verengern und es ist hier die Frage zu lösen, ob ausser dem musculo-cutanen Gefässgebiete auch dem abdominalen oder pulmonalen Gebiete ein wesentlicher Antheil an der Drucksteigerung zukommt. Um diese Frage zu lösen, musste man den Einfluss sensibler Reizung untersuchen 1) nach Ausschaltung der Blutgefässe der Baucheingeweide, 2) nach Ausschaltung des Gefässgebietes der Extremitäten nnd 3) nach Ausschaltung der beim Frosche zum Aortenkreislauf in nahe Beziehung tretenden Lungengefässe.

Die Ausschaltung der Eingeweide wurde so vorgenommen, dass nicht die zu ihnen führenden Nerven durchschnitten wurden, sondern dass man, unter Vermeidung jeder Blutung, die Eingeweide (Verdauungscanal, Leber, Milz) unterband und ausschnitt; die unmittelbare Folge der Unterbindung war gewöhnlich Stillstand des Herzens und Absinken des Blutdruckes, offenbar in Folge von Sympathicusreizung und reflectorischer Einwirkung auf das Herz. (Um dabei den schädlichen Eintritt reichlicher Manometerflüssigkeit in das Herz zu verhindern, wurde während der Unterbindung das Manometer abgesperrt und erst nach völliger Erholung des Herzens freigegeben.) Bald aber erhob sich der Druck und erreichte seine frühere Höhe. Wurde nunmehr die Haut gereizt, so ergab sich in allen Fällen Blutdrucksteigerung; freilich war sie im Verhältniss zum intacten Frosche viel geringer.

Abbindung der Lungen hatte meist keine Veränderung des Blutdrucks zur Folge; sensible Reizung ergab stets Blutdruckerhöhung aber sie war geringer als beim intacten Frosche; während man bei einem solchen auf ein leichtes Bepinseln der Haut mit Ammoniaklösung oder auf schwache mechanische Reizung stets eine Blutdruckerhöhung um mindestens 1^{cm} erhielt, konnte man nach Entfernung der Lungen nur eine Blutdrucksteigerung um 2^{mm}, höchsens 4^{mm} erzielen.

Die vier Extremitäten wurden in der Weise ausgeschaltet, dass sie nur durch den N. ischiadicus, bez. den Hauptstamm des Plexus brachialis in Zusammenhange mit dem Rumpfe des Frosches blieben. Auch jetzt war noch auf sensible Reizung erhebliche Blutdrucksteigerung bemerkbar.

---

[1] Beiträge zur Kenntniss der Gefässinnervation. Pflüger's *Archiv* u. s. w. Bd. XVI.

Ich suchte ferner, nach gleichzeitiger Ausschaltung der Baucheingeweide und der Lungen den Blutdruck zu beobachten, allein ich konnte hier nichts Sicheres sehen, da der Blutdruck, wahrscheinlich in Folge von Schwächung der Herzkraft, fortwährend sank; sensible Reizung hielt das Fallen nicht auf.

Wenn wir die Resultate dieser Versuche betrachten, so müssen wir uns sagen, dass wir zu einer sicheren Anschauung über die bei der reflectorischen Drucksteigerung betheiligten Kreislaufsgebiete nicht gelangt sind. Das Geringerwerden des Gefässreflexes nach Ausschaltung der Lungen und der Abdominalorgane lässt sich natürlich für eine Entscheidung in dieser Frage nicht verwerthen. Ein Zusammenwirken sämmtlicher Gefässgebiete erscheint als das Wahrscheinlichste, indessen kann man sich doch der Auffassung nicht verschliessen, und dazu regen ganz besonders die Beobachtungen von Heidenhain und Grützner[1] an, dass doch vielleicht ausser der Verengerung der Arterien noch andere Momente bei der reflectorischen Blutdrucksteigerung betheiligt sind, deren Beachtung seit den bahnbrechenden Arbeiten Ludwig's vielleicht allzusehr in den Hintergrund gedrängt worden ist.

III. Spinale Gefässreflexe.

Endlich versuchte ich den Ort des Centrums des Gefässreflexes selbst zu localisiren, somit der Frage nach der Existenz spinaler Gefässcentra näher zu treten. Bekannt sind in dieser Beziehung die am Warmblüter gewonnenen, zum Theil freilich sich widersprechenden Ergebnisse von Schlesinger, Heidenhain und Kabierske, S. Mayer, Luchsinger u. A. Für den Frosch giebt Nussbaum[2] an, nach Abtrennung der Medulla oblongata vom Rückenmark auf sensible Reizung noch Arteriencontractionen mit Hülfe des Mikroskops wahrgenommen zu haben. Auch Gaskell berichtet, dass er durch sensible Reizung Contraction der Muskelgefässe — ebenfalls mikroskopisch beobachtet — erzielt habe. Ich selbst habe bei einer grösseren Anzahl von Fröschen die Medulla oblongata vom Rückenmark getrennt und dann Reizung sensibler Nerven angewandt. Ich konnte aber niemals eine unzweideutige Erhöhung des Blutdruckes erzielen. Höchstens kam eine minimale 1—2^{mm} betragende Steigerung der Druckmessersäule zu Stande, und zwar nur bei Appli-

[1] A. a. O.
[2] A. a. O.

cation so starker Ströme, dass diese nicht mehr als unbedenklich betrachtet werden konnten. Zuweilen sank dagegen sogar die Sodalösung ein wenig. Die Thiere wurden zu diesen Versuchen theils bald nach der Durchschneidung, theils ein Paar Stunden oder sogar Tage nach derselben benutzt, und die Durchschneidung des Rückenmarkes erfolgte, unter geringfügiger Blutung, in verschiedenen Höhen.[1] Der Reiz war bald ein mechanischer, bald ein chemischer, bald ein elektrischer, und die Frösche waren theils tief, theils schwach, theils gar nicht curarisirt. Die Hinterthiere befanden sich im Zustande hoher Reflexerregbarkeit; auf leichte mechanische Reizung der Pfote traten kräftige Reflexbewegungen, oft auch Entleerung von Harn ein. Trotz aller Versuchsänderungen war aber der Erfolg ein durchaus negativer.

Soll man aus diesen Ergebnissen schliessen, dass der Frosch spinale Gefässcentra nicht besitze? Ich glaube, dass man dazu nicht berechtigt ist. Dass ein spinaler Gefässtonus auch beim Frosche vorhanden ist, geht aus den mannigfaltigen Versuchen von Goltz wohl augenscheinlich hervor. Auch spricht dafür die von mir beobachtete nicht unbeträchtliche Höhe des Blutdruckes nach Rückenmarksdurchschneidung, die zuweilen nur wenig unter der Druckhöhe des intacten Thieres zurückblieb. Wo aber ein Tonus existirt, da existiren auch Centra. Mag nun dieser Tonus ein wirklich automatischer sein, mag er in Anregungen von der Peripherie seinen Grund haben, aus den mitgetheilten Versuchen folgt nur, dass entweder durch elektrische Nervenreizung dieser Tonus nicht weiter gesteigert werden kann, oder dass die von dem übriggebliebenen Medullarantheile versorgten Gefässgebiete zu geringfügig sind, um einen merklichen Einfluss auf die Höhe des allgemeinen Blutdruckes üben zu können. Zwischen diesen beiden Erklärungen zu entscheiden, wage ich um so weniger, als möglicherweise noch ein anderes Moment in Betracht kommt. Nähme man nämlich an, dass beim intacten Frosche das Herz an der reflectorischen Drucksteigerung nicht so ganz unbetheiligt ist, wie man jetzt für gewöhnlich glaubt, so liesse sich vielleicht das Ausbleiben der Drucksteigerung nach Abtrennung der Medulla oblongata vom Rückenmark durch den Fortfall des Herzreflexes wenigstens theilweise erklären.

---

[1] Man muss sich aber natürlich hüten, tiefer als über der Ursprungsstelle der Wurzeln des Plexus ischiadicus das Rückenmark zu durchschneiden. Denn in diesem Falle kann bei Reizung der Schenkelhaut die Medulla oblongata in den Reflexkreis mit hineingezogen sein. In der That sah ich in zwei Fällen, in denen die Durchschneidung zwischen erster und zweiter Ischiadicuswurzel erfolgt war, auf mechanische Reizung mancher Theile des Schenkels kräftige Blutdrucksteigerung, während beim stärksten Kneifen der Zehen und des Fusses keine solche zu erzielen war.

Fasse ich schliesslich die Hauptergebnisse der mitgetheilten Versuche noch einmal kurz zusammen, so folgt aus ihnen, dass

1) auch beim Frosche eine Blutdruckerhöhung auf Reizung sensibler Nerven eintritt,

2) dass dieselbe auch nach Ausschaltung des gesammten Bauchgefässgebietes, oder der Lungengefässe, oder der Gefässe der vier Extremitäten zu Stande kommt,

3) dass die reflectorische Druckerhöhung ausbleibt, wenn das Rückenmark in beliebiger Höhe unterhalb der Medulla oblongata durchschnitten ist.

Zur Kenntniss des physiologischen Verhaltens des Brenzcatechin, Hydrochinon und Resorcin und ihrer Entstehung im Thierkörper.

Von

Dr. L. Brieger.

Aus der chemischen Abtheilung des physiologischen Instituts zu Berlin.

Die Gruppe der Dihydroxylbenzole ist durch den Nachweis, dass das Brenzcatechin ein regelmässiger Bestandtheil des Thierkörpers ist, und dass das Hydrochinon unter gewissen Bedingungen im Thierkörper gebildet wird, dem Interessenkreise der Mediciner näher gerückt. Ebstein und Müller[1] waren es, die zuerst aus dem Harne eines Kindes, der an der Luft, namentlich nach Zusatz von Alkali, sich dunkel färbte, säulenförmige rechtwinklige Krystalle isolirten, die durch ihre Reactionen als Brenzcatechin sich charakterisirten. Der gleiche Körper bedingte nach diesen Autoren die Dunkelfärbung des Urins bei einem Falle, von dem Fürbringer[2] erzählt. Die Angabe von Fleischer,[3] dass die Bräunung und das Reductionsvermögen des Harns nach Verabreichung von Salicylsäure und ihrer Natronverbindung dem Brenzcatechin zuzuschreiben sei, bedarf noch weiterer Aufklärung. Aus Baumann's Untersuchungen[4] geht aber hervor, dass das Brenzcatechin ein regelmässiger Bestandtheil des Menschen- und Pferdeharns sei, und dass als Quelle

---

[1] Virchow's *Archiv* u. s. w. Bd. LXII. S. 554.

[2] *Berl. klin. Wochenschr.* 1875. Nr. 24. — *Zeitschr. f. analyt. Chemie.* Bd. XIV. S. 408.

[3] *Berl. klin. Wochenschr.* 1875. Nr. 39 u. 40.

[4] Pflüger's *Archiv* u. s. w. Bd. XII. S. 63; — Bd. XIII. S. 16.

desselben nicht das Eiweiss betrachtet werden dürfte, da bei Hunden mit ausschliesslicher Fleischkost das Brenzcatechin im Urin nicht gefunden wird. Ebensowenig gelang es Preusse[1] bei einem Kaninchen, das ca. 14 Tage lang auf blosse Milchnahrung gesetzt worden, Brenzcatechin im Harne nachzuweisen. Preusse wurde deshalb zur Annahme geführt, dass das Brenzcatechin der Pflanzennahrung entstamme und es glückte ihm, durch Versuche zu erhärten, dass die im Pflanzenreiche weit verbreitete Protokatechusäure im Thierkörper theilweise in Brenzcatechin übergehe. Ueber das Auftreten von Hydrochinon im Thierkörper sind wir erst vor Kurzem von Baumann und Preusse[2] unterrichtet worden. Sie erhielten nämlich diesen Körper aus dem Harn von Hunden, die längere Zeit mit Phenol gepinselt worden waren und erbrachten hierbei den Nachweis, dass Oxydationsproducte des Hydrochinon es sind, welche die Dunkelfärbung des Carbolharns verursachen.

Die Form, in welcher die Dihydroxylbenzole den Thierkörper verlassen, ist nach Baumann und Herter[3] die der Aetherschwefelsäuren. Kennen wir somit, wenn auch nur theilweise, die Umstände, welche das Auftreten dieser Substanzen im Thierkörper bedingen und die Art und Weise ihrer Elimination aus demselben, so fehlt uns doch bisher jeder Anhaltspunkt über ihre Wirkung im thierischen Organismus und ihr Verhalten gegen Gährungs- und Fäulnissträger. Diese Verhältnisse aufzuklären, bezwecken die folgenden Untersuchungen, in deren Kreis ich auch noch das Resorcin gezogen habe, um so die Gesammtreihe der Dihydroxylbenzole mit einander vergleichen zu können.

A. Wie verhalten sich Kalt- und Warmblüter gegen Brenzcatechin, Hydrochinon und Resorcin?

Bei den zunächst folgenden Versuchen mit Sommerfröschen habe ich von der subcutanen Beibringung der Dihydroxylbenzole Abstand genommen. Da sich zeigte, dass die betreffenden Substanzen leicht von der Haut aus resorbirt werden, habe ich das von Christiani[4] angegebene und erprobte Verfahren eingeschlagen, das einen guten Einblick in die Reihenfolge der Symptome erlaubt.

Versuchsanordnung:

I. Ein Frosch von ca. 55^{grm} Körpergewicht wird in ein Becherglas gesetzt, dessen Boden von 5^{ccm} einer Lösung (1:1000) eines der Dihydroxylbenzole bedeckt ist.

II. Ein gleich grosser Frosch wird in ein Becherglas von denselben

---

[1] *Zeitschr. f. physiol. Chemie.* Bd. II, S. 329.
[2] *Dies Archiv.* 1879. S. 245.
[3] *Zeitschr. f. physiol. Chemie.* Bd. I, S. 244.
[4] *Zeitschr. f. physiol. Chemie.* Bd. II, S. 273.

Dimensionen wie I. gebracht und 10 ccm einer Lösung (1 : 1000) eines der Dihydroxylbenzole hinzugefügt.

III. Verfahren wie in II., ausserdem werden noch 50 ccm Wasser hinzugegossen.

IV. Es wird wie in II. vorgegangen, der Wasserzusatz betrug hier aber 100 ccm.

Die Oberfläche der Versuchsthiere war somit in geringerer oder grösserer Ausdehnung von der Flüssigkeit umspült. In der folgenden Tabelle sind einige Versuchsergebnisse zusammengestellt:

Versuchs-anordnung.	Eintritt etwaiger Vergiftungs-erscheinungen.			Endeffect.		
	Brenz-catechin.	Hydro-chinon.	Resorcin.	Brenz-catechin.	Hydro-chinon.	Resorcin.
I.	. . . .	. . . .	. . . .	Tod nach 2 Stunden.	Tod nach $4\frac{1}{2}$ Stunden.	Frösche blieben leben.
II.	Krämpfe nach einigen Minuten.			Tod nach 2 Stunden.	Tod nach $2\frac{1}{2}$ Stunden.	Tod nach 6 Stunden.
III.	. . . .	. . . .	. . . .	Tod nach 3 Stunden.	Tod nbch 6 Stunden.	Frösche erhalten sich.
IV.	Krämpfe nach 1 Stunde.	Krämpfe nach 2 Stunden.	Keine Krämpfe.	Tod nach 6 Stunden.	Tod nach $8\frac{1}{2}$ Stunden.	Frösche leben.

Die Versuche, die öfter und stets mit dem gleichen Erfolge ausgeführt wurden, zeigen, dass das Brenzcatechin am intensivsten toxisch wirkt, ihm steht nahe das Hydrochinon, während das Resorcin sich als am wenigsten giftig herausstellte. Diese Schlussfolgerungen werden noch gestützt durch die Resultate anderer Versuchsreihen, bei denen Frösche in Lösungen von 0,005 mgr Brenzcatechin auf 100 ccm Wasser gesetzt, innerhalb 10 Stunden zu Grunde gegangen waren, während es beim Hydrochinon einer Lösung von 0,01 grm auf 100 ccm Wasser benöthigte, um denselben Effect zu erzielen, und Resorcinlösungen in gleicher Concentration wie das Hydrochinon die Frösche wenig oder gar nicht schädigten.

Die toxischen Wirkungen der Diohydroxylbenzole äussern sich in gleicher Weise, wie die des Phenols, von dem die letale Dosis für den Frosch nach Christiani von der Haut aus 0·01 grm beträgt, zeigen aber wie aus obiger Tabelle hervorgeht, quantitative Unterschiede unter sich.

Die Versuchsthiere werden anfangs soporös, collabiren, das Aufenthaltswasser trübt sich dabei milchig, es treten dann leichte Zuckungen der Extremitäten ein, denen schnell reflectorische Krämpfe folgen, die mit der Dauer an Intensität gewinnen. Die Thiere werden dann sehr häufig in die Höhe geschnellt, so dass das Aufenthaltswasser schaumig wird. Mit der zunehmenden Erschöpfung der Thiere lässt auch die Intensität der Krämpfe nach. Die Thiere beginnen mühsam zu athmen, machen häufig schnappende Bewegungen und sind dann plötzlich todt oder erholen sich bei nicht tödtlichen Dosen allmählich. Bisweilen erfolgt der Tod auf der Höhe der reflectorischen Krämpfe.

Bei der Obduction der so vergifteten Frösche fand sich das Blut dünnflüssig, blauroth, die kleinen Arterien erweitert, Hyperämie der Unterleibsorgane und der Schenkelmusculatur, die Lungen emphysematös aufgeblasen, Befunde,[1] wie sie Christiani, gleichfalls aber nicht constant, an phenolvergifteten Fröschen bemerkt hat.

Das Aufenthaltswasser der durch die Dihydroxylbenzole vergifteten Frösche, das sich stets sehr rasch milchig trübte, wurde eingedampft, mit Chlorbarium versetzt und vom schwefelsauren Baryt abfiltrirt, es entstand beim Kochen mit Salzsäure ein erheblicher Niederschlag von $BaSO_4$, ein Beweis, dass auch die Frösche die Dihydroxylbenzole in Form gepaarter Schwefelsäuren ausscheiden.

Die Warmblüter vertragen relativ grössere Dosen der Dihydroxylbenzole als die Kaltblüter.

Einem Kaninchen von 1370grm Körpergewicht werden 0·250grm Hydrochinon in Milch verabreicht. Auch nicht das geringste Unbehagen oder irgend welche üble Folgewirkungen machen sich geltend. Als nach mehreren Tagen demselben Thiere 0,5 grm Hydrochinon verabfolgt wurden, sind ca. eine halbe Stunde nach Einverleibung der Substanz kurz andauernde Krämpfe in den Extremitäten wahrnehmbar, doch erholt sich das Thier bald und frisst in gewohnter Weise, erst 0·75 grm demselben Thiere nach 2 Tagen beigebracht, riefen nach einer halben Stunde Krämpfe zuerst in den vorderen, dann in den hinteren Extremitäten hervor, diese steigern sich rasch zu allgemeinen klonischen Krämpfen, es tritt bald Athemnoth ein, die Arterien erweitern sich, die Ohren fühlen sich brennend heiss an. Speichel und Thränensecretion erscheint vermehrt, die

[1] A. a. O. S. 281.

Sensibilität bleibt völlig intact, Reflexe rufen heftige Krampfanfälle hervor, die Temperatur steigt um ca. $1^1/_2$ ° C. um bald wieder zu sinken, die Krämpfe werden schwächer, die Reflexerregbarkeit nimmt ab, die Athmung wird langsamer und nach $1^1/_2$ Stunden stirbt das Thier.

Bei der Obduction zeigte sich das Blut dickflüssig, Ventrikel prall gefüllt, sonst nichts bemerkenswerthes.

Bei einem anderen Kaninchen von 2330 ^{grm} Körpergewicht veranlassen 0.4 ^{grm} Hydrochinon gar keine Alteration, 1 ^{grm} mehrere Tage später eingegeben ca. 2 Stunden lang klonische Krämpfe, das Thier erholte sich darauf wieder und befand sich in der Folge ganz wohl.

Der Urin dieser Thiere war stets dunkel gefärbt und enthielt kein freies Hydrochinon. Dasselbe trat aber auf, nachdem der Harn in Fäulniss übergegangen war, in Folge von Zersetzung der Aetherschwefelsäuren.

Nach Eingabe von 0·5 ^{grm} Resorcin verräth ein Kaninchen von 2200 ^{grm} Körpergewicht kein Unbehagen, während 1 ^{grm} clonische Krämpfe verursachen, die bald vorübergingen.

Aehnlich war die Wirkung von einem Gramm Resorcin bei einem Kaninchen von 2740 ^{grm} Körpergewicht, nur dauerten hier die Krämpfe 2 Stunden lang an, wenige Tage nachher, als das Thier zur Norm zurückgekehrt, führten 0·5 ^{grm} Brenzcatechin bei demselben nach einer halben Stunde unter heftigen Krämpfen den Tod herbei. Nicht letal war die Dosis von 0·3 ^{grm} Brenzcatechin bei einem Kaninchen von 1680 ^{grm} Körpergewicht, nur eine Stunde lang wurden dadurch heftige klonische Krämpfe ausgelöst, worauf das Thier sich wieder wohl befand. Eine Woche später erlag das gleiche Thier einer Gabe von 0·5 ^{grm} Brenzcatechin in einer halben Stunde unter ähnlichen Erscheinungen, wie eben beim Hydrochinon beschrieben.

Das Brenzcatechin, welches dem Phenol sehr nahe steht, von dem 0·3—0·5 ^{grm} Kaninchen tödten, übertrifft somit auch bei Warmblütern hinsichtlich seiner Giftigkeit die beiden anderen Dihydroxylbenzole, von denen dem Resorcin die schwächsten giftigen Eigenschaften zukommen.

B. Antifermentative Wirkung der Dihydroxylbenzole.

Nach Hüfner, Kühne, Nencki u. A. verläuft bekanntlich die Fäulniss von Pankreasinfusen sehr rasch und giebt sich zu erkennen durch Bildung von Schwefelwasserstoff, Gasentwickelung, das reichliche Auftreten von Bakterien und die Abspaltung aromatischer Substanzen, wie Indol, Phenol u. s. w. Um die etwaigen fäulnisswidrigen Eigenschaften der Dihydroxylbenzole beurtheilen zu können, wurden je 20 ^{grm} fein zerhackten Pankreas mit je 100 ^{ccm} verschieden starker Lösungen der betreffenden Substanzen bei 40 ° C. 4—14 Tage lang digerirt. Daneben

wurde stets ein Controlversuch aufgestellt. Von Zeit zu Zeit wurde auf Bakterien untersucht und durch ein in den Kolben hineingehängten Streifen von Bleipapier auf etwaige Schwefelwasserstoffentwickelung geprüft. Im Destillat eines jeden Kolben wurde sodann mit rauchender Salpetersäure das Indol nachzuweisen versucht. Es stellte sich nun heraus, dass das Hydrochinon und Brenzcatechin in 1 procentiger Lösung die Eiweissfäulniss vollständig verhindern, während das Resorcin in 1 procentiger Lösung die Entwickelung von Bakterien und Schwefelwasserstoff nicht zu hemmen vermochte, doch kam es hierbei nicht zur Indolbildung.

Alle diese Flüssigkeiten hatten sich stets dunkel gefärbt und konnte man dort, wo reichlich Bakterien vorhanden waren, bemerken, dass gewisse Arten von Bakterien sich gebräunt hatten, während andere ungefärbt schienen. Uebrigens fanden sich auch in den fäulnisswidrig wirkenden Lösungen von Brenzcatechin und Hydrochinon vereinzelte Bakterien.

Den Einfluss der Dihydroxylbenzole auf die Buttersäuregährung studirte ich in der Weise, dass ich in Kolben, die ca. 300 ^{ccm} fassten, $1^1/_2$ ^{gr} milchsauren Kalk und $1^1/_2$ ^{gr} einer dieser Substanzen hineinbrachte, dann fest verkorkte und ein durch den durchbohrten Kork gehendes Abzugsrohr mit einer mit Quecksilber gefüllten Absorptionsröhre in Verbindung setzte. Selbstverständlich wurden auch stets Controlversuche angestellt. Es zeigte sich nun hierbei wiederholt, dass Brenzcatechin und Hydrochinon stets in $^1/_2$ procentiger Lösung die Buttersäuregährung hintanhielten. In den gleichprocentigen Resorcinlösungen, sowie in den Controlversuchen hatte stets eine Gasentwickelung stattgefunden.

Der Einfluss der Dihydroxylbenzole auf die Alkoholgährung wurde in der Weise geprüft, dass je 10 ^{ccm} einer Traubenzuckerlösung von 5 Proc. über Quecksilber mit wechselnden Mengen der Dihydroxylbenzole zusammengebracht wurden. Diese Versuche, deren Aufzählung im Einzelnen ich unterlassen zu dürfen glaube, ergaben eine nahe Uebereinstimmung hinsichtlich der Einwirkung der drei isomeren Verbindungen. Bei Zusatz von 0·1 ^{grm} Brenzcatechin, Hydrochinon oder Resorcin, d. h. also in 1 procentiger Lösung wurde die Alkoholgährung vollkommen unterdrückt, während kleinere Quantitäten dieselbe nur verzögerten.

C. Nachweis und Trennung von Brenzcatechin und Hydrochinon im Phenolharn.

Nachdem Baumann und Preusse[1] aus dem Harn von mit Phenol vergifteten Hunden das Hydrochinon dargestellt und aus dem Auftreten

[1] A. a. O. S. 247.

desselben und seiner Oxydationsproducte die dunkle Färbung des Carbolharns hergeleitet hatten, war es von einem gewissen Interesse, zu erfahren, ob auch aus dem Harn von Menschen, die mit kleinen Dosen Phenol behandelt worden waren, das Hydrochinon sich darstellen liesse. Bei der Verarbeitung derartigen Harns hielt ich mich genau an die Vorschrift von Baumann und Preusse[1]. 40 Liter Urin von mit Phenol äusserlich behandelten Patienten, wurden mit Salzsäure auf ca. 3 Liter eingedampft und nach dem Erkalten mit Aether extrahirt, der wiederholt mit Sodalösung geschüttelt wurde. Der Aether wurde dann sorgsam von der Flüssigkeit getrennt, abdestillirt, der Rückstand zur Trockne verdunstet, mit wenig Wasser aufgenommen und dann die harzigen Massen abfiltrirt. Das Filtrat wurde wiederum mit Aether ausgeschüttelt, derselbe verdunstet und der Aetherrückstand wiederholt aus heissem Toluol umkrystallisirt. Es hinterblieben 0·453 ^{grm} reines Hydrochinon, das bei 167—168° C. schmolz und die bekannten Reactionen des Hydrochinon zeigte. Seine Lösung reducirte ammoniakalische Silberlösung, lieferte beim Erwärmen mit Eisenchlorid Chinon und färbte sich mit Alkalien braun. Baumann und Preusse[1] hatten aus dem Harn von mit Phenol vergifteten Hunden, die lange vorher nur mit Fleisch gefüttert waren, also Brenzcatechin nicht bilden konnten, Reactionen erhalten, welche die Bildung des Brenzcatechin aus dem Phenol in geringen Mengen erwiesen. Es schien mir nicht unwichtig, zu versuchen, ob auch das Brenzcatechin aus solchem Harn sich in Substanz darstellen lässt. Dies gelang mir nach folgendem Verfahren. Der Harn wurde zunächst wie bei der Gewinnung des Hydrochinons behandelt. Der Rückstand der gereinigten Aetherauszüge wurde aber nicht aus Toluol umkrystallisirt, sondern in Wasser gelöst und mit Bleiacetat gefällt. Das Brenzcatechin wird in neutraler Lösung von Bleiacetat gefällt, während das Hydrochinon in Lösung bleibt. Der dadurch entstandene Niederschlag wurde abfiltrirt, mit verdünnter Schwefelsäure zerlegt und dann mit Aether extrahirt. Der Aether wurde an der Luft verdunstet und der Rückstand in Exsiccator stehen gelassen, wobei glänzend weisse Krystalle anschossen, die durch Sublimation gereinigt wurden. Der Schmelzpunkt dieser Krystalle wurde zu 98° C. gefunden, während Brenzcatechin bei 102° C. schmilzt. Im Uebrigen zeigten die geringsten Mengen davon in neutraler oder alkalischer Lösung die Reactionen des Brenzcatechin. In wässeriger Lösung wurden sie mit Eisenchlorid grün gefärbt, welche Färbung nach Zusatz von kohlensaurem Ammoniak durch blau in violet

[1] A. a. O. S. 247.

[2] *Zeitschr. f. physiol. Chemie.* Bd. III. S. 157.

sich umwandelte. Salpetersaures Silber wurde durch Lösungen dieser Krystalle bei Gegenwart von Ammoniak in der Kälte, alkalische Kupferlösung beim Erwärmen sofort reducirt.

Resorcin im Thierkörper nachzuweisen, gelang mir ebensowenig wie Baumann und Preusse.

Da den Dihydroxylbenzolen eine kräftig antifermentative Wirkung zukommt, so liegt es nahe, sie äusserlich in gleicher Weise anzuwenden, wie das Phenol, vor dem sie den Vorzug haben, keine ätzenden Eigenschaften zu besitzen. Letzterer Umstand gestattet, die Dihydroxylbenzole selbst in sehr starker Concentration auf Stellen appliciren zu können, die ihrer Empfindlichkeit wegen die Phenolanwendung in wirksamer Concentration verbieten. Das Hydrochinon schien sich hierfür besonders zu empfehlen, da es bei sehr stark antifermentativer Wirkung viel weniger giftig als das Phenol ist. Ich habe deshalb mit dieser Substanz einige klinische Versuche unternommen. Aus denselben möchte ich schon jetzt hervorheben, dass mit Hydrochinon bei der Gonorrhoë auffällig günstige Resultate erzielt wurden. Ich verfüge bereits über eine Reihe von Beobachtungen, wo Leute mit abundanten eitrigen Ausflüssen, die 8 bis 14 Tage, bei einem Falle bereits ein viertel Jahr, lang bestanden hatten, innerhalb 8—10 Tagen nach 2—5maligen täglichen Injectionen von 1—2 procentigen Hydrochinonlösungen, die sorgfältig überwacht waren, davon befreit wurden. Die Injectionen erzeugten, ausser bei einem Falle, keine nennenswerthe Schmerzempfindung. Die Schmerzhaftigkeit, welche jede frische Gonorrhoë begleitet, schwindet nach wenigen Tagen, sobald der Ausfluss nach den Injectionen sich zu vermindern beginnt. Dass aber bei diesen Fällen die Hydrochinoninjectionen es waren, welche die copiöse Secretion sistirten, und nicht etwa zufällige Umstände, geht daraus hervor, dass bei Individuen, bei denen zum Zwecke der Controle schon im Beginn der Secretionsverminderung die Injectionen ausgesetzt wurden, sofort eine Recrudescenz erfolgte, die durch neue Injectionen rasch behoben wurde. Ich habe mich ferner überzeugt, dass 2procentige Hydrochinonlösungen in Augen von Kaninchen geträufelt keinerlei ätzende Wirkungen auf die Cornea ausübten, und dürfte sich deshalb das Hydrochinon auch bei infectiösen Augenleiden wie Blennorrhoë u. s. w. mit Erfolg in Anwendung ziehen lassen. Mit dem Resorcin habe ich nicht die günstigen Resultate erzielt, wie mit dem Hydrochinon. 2—5procentige Lösungen von Resorcin in die Harnröhre injicirt, verursachten heftige Schmerzen und beschränkten den Ausfluss nicht im Geringsten.

Berlin, den 14. October 1879.

Die Lebenszähigkeit des Embryo's.

Von

Dr. Bernhard Rawitz,
Unterarzt in Berlin.

Als Unterarzt in der Charité auf der Abtheilung für syphilitische Weiber hatte ich hin und wieder Gelegenheit, Aborte zu beobachten (Ereignisse, die bei *Puellis publicis* nicht gar so ungewöhnlich scheinen), die meist Früchte sehr früher Perioden betrafen, von denen der eine mir einer weiteren Erwähnung deshalb werth erscheint, weil die dabei zufällig angestellten Beobachtungen einen, wie ich glaube, sehr interessanten Beitrag liefern zu jener, von Pflüger aufgestellten Lehre von der Lebenstenacität des Embryo's.

Wenn ich diese Beobachtungen, die im Juni gemacht wurden, erst jetzt veröffentliche, so hat das einerseits seinen Grund darin, dass ich, mehr der Histologie zuneigend, in Unbekanntschaft mit der einschlägigen Literatur die physiologische Bedeutung der beobachteten Thatsachen mehr ahnte, als klar erkannte, deren Erkenntniss ich erst meinem verehrten Lehrer Hrn. Prof. H. Munk verdanke. Andererseits nahmen mich die Berufsgeschäfte auf jener der Grösse Berlins angemessen grossen Station derartig in Anspruch, dass ich keine Zeit fand, die folgende kleine Mittheilung druckfertig zu machen.

Das Ei war nach kurzer Wehenthätigkeit des Uterus *in toto* mit allen seinen Adnexis ohne bedeutende Blutung ausgestossen worden. An einer Stelle sah ich den Embryo durch die sehr dünnen Eihäute hindurch im Fruchtwasser schwimmen; er hatte dabei die gewöhnliche Haltung; Kopf nach vorn auf die Brust geneigt, Kniee an den Leib angezogen, die Unterschenkel in stärkster Flexion. Die Länge des Eies betrug 11^{cm}.

Auf einem gewöhnlichen Eiterbecken eröffnete ich durch einen grossen Scheerenschnitt die Eihäute; das gelbliche Fruchtwasser floss ab und der Embryo lag für die Beobachtung offen. Derselbe maass in seinem längsten Durchmesser 8^{cm} ($3^1/_2$ Zoll), die Sexualorgane waren nicht differenzirt, an beiden Extremitätenpaaren liess sich in selten schöner Weise die Ver-

zweigung der Hautvenen, die mit Blut ziemlich stark angefüllt waren, erkennen. Die Grösse des Schädels betrug fast ein Drittel von der der ganzen Frucht; die Haut des Schädeldaches zeigte Andeutung der Bildung von Lanugo. Das Grosshirn, wie ich durch die viel später vorgenommene Eröffnung der Cavum cranii sehen konnte, hatte keine Gyri, selbst nicht andeutungsweise, nur die Trennung von Stirn- und Schläfenlappen war durch eine äusserst seichte Furche angedeutet. Pons, Cerebellum, sowie der ganze Hirnstock waren sehr deutlich entwickelt.

In stummes Anstaunen eines für mich so ungewöhnlichen Gegenstandes versunken, wie es ein dreimonatlicher menschlicher Embryo war, bemerkte ich erst nach einiger Zeit, etwa nach Verlauf einer Viertelstunde, eine eigenthümliche, regelmässige, hebende Bewegung des Thorax und Abdomen, die nichts Respiratorisches an sich hatte, sondern den Erschütterungen glich, die durch die Pulsation des Herzens hervorgerufen werden. Nachdem ich das Sternum entfernt hatte, trat das folgende Phänomen zu Tage:

Das im Verhältniss zum Volumen des Thorax ausserordentlich grosse Herz, dessen Vasa coronaria ziemlich stark angefüllt waren, pulsirte, und zwar liess sich dabei Folgendes feststellen:

Die Contraction erfolgte in zwei Abschnitten, erst Contraction der Atrien, dann Contraction der Ventrikel. In der ersten Hälfte der pulsatorischen Bewegung, bei Contraction der Atrien, füllten sich die Ventrikel prall mit Blut, die Musculatur derselben nahm dabei, soweit äusserlich erkennbar, eine livide Färbung an. In der zweiten Hälfte, der Ventrikel-Contraction, war Diastole der Atrien; jetzt wurden diese prall mit Blut gefüllt, ihre Farbe war fast blau zu nennen. Während der Contraction war sowohl die Musculatur der Atrien, wie, was ich besonders hervorheben möchte, die der Ventrikel blass, gleichzeitig liess die Füllung der Coronargefässe nach. Jene letztere, unzweifelhafte Thatsache spricht wohl für jene Autoren, die annehmen, dass erst in der Ventrikeldiastole die Herzgefässe ihr Blut erhalten.

Dieser rhythmische Wechsel von Contraction und Dilatation ging langsam vor sich. Der langsamen, aber kräftigen Atriensystole folgte unmittelbar die ebenfalls sehr kräftige Dystole der Kammern. Darauf trat ein momentaner Stillstand ein, während dessen Vorhöfe und Kammern in Diastole verharrten; demselben folgte dann wieder die sehr kräftige pulsatorische Bewegung.

Diesem an und für sich sehr interessanten Phänomen, denn es wird wohl selten Gelegenheit geboten, Herzcontractionen am menschlichen, lebenden (wenn auch nicht lebensfähigen) Embryo zu beobachten, reiht sich das ebenso interessante der langen Dauer desselben an.

Die Bedingungen, unter denen die Beobachtungen von dem Stabsarzt Hrn. Dr. Krosta, sowie von meinen auf derselben Station beschäftigten HH. Collegen und mir angestellt wurden, waren die für derartige Sachen denkbar ungünstigsten.

Das metallene Eiterbecken was vor seiner Benutzung mehrere Stunden den Strahlen der Morgensonne ausgesetzt gewesen und daher noch warm; der Tisch, auf dem dasselbe stand, war mit schwarzem Wachstuch bedeckt und ebenfalls sehr warm; ausserdem herrschte an jenem Tage eine ungewöhnlich hohe Temperatur: kurz, Alles vereinigte sich, um die Verdunstung von der eröffneten Körperhöhle aus möglichst zu begünstigen.

Trotzdem hatten wir alle die Freude, volle vier Stunden hindurch, von $9^1/_2$—$1^1/_2$ Uhr, das hochinteressante Phänomen studiren zu können. Da nun das Herz in der Minute durchschnittlich 20 Contractionen machte, die Zahl derselben, wie wiederholt constatirt werden konnte, bis zuletzt nicht abnahm, sondern sich gleich blieb, so können wir die Gesammtsumme der typisch, in der vorhingeschilderten Weise erfolgten Contractionen auf 4800 berechnen.

Wenn wir berücksichtigen, welch ein enormer Eingriff schon bei einem sechsmonatlichen Fötus die Eröffnung der Pleurahöhlen ohne Freilegung des Herzens ist, dass stets als unmittelbare Folge der Tod eintritt, wenn wir ferner die für das Phänomen physikalisch ungünstigen Bedingungen in Erwägung ziehen, wenn wir endlich bedenken, dass der vom mütterlichen Organismus losgelöste Embryo keinerlei Respirationsbewegungen machen, sein Blut also nicht decarbonisiren konnte, so werden wir zu dem Schlusse gelangen, dass dieses Phänomen ein Beweis für eine Lebenszähigkeit des Embryo's ist, wie wir sie bis jetzt nur gewöhnt waren, bei Poikilothermen als selbstverständlich vorauszusetzen, bei Homoiothermen künstlich herzustellen aber vergeblich uns bemüht hatten.

Wie dies Phänomen zu erklären sei, zu welchen Schlüssen es in seinen weiteren Consequenzen berechtigt, das hier auszusprechen, geht über den engen Rahmen dieser kurzen Mittheilung hinaus.

Sub finem vitae, wenn ich so sagen darf, fing der Typus in der Contractionsreihenfolge an, sich zu verwischen. Es contrahirte sich einmal zuerst das rechte, dann das linke Herz, und umgekehrt, bis, bei allmählicher Abnahme der Kraft in den Bewegungen, Ventrikel- und Atriensystole nicht mehr zu trennen war, und schliesslich gänzlicher Stillstand eintrat.

Hrn. Prof. Levin, sowie dem Stabsarzt Hrn. Dr. Krosta zolle ich hier meinen aufrichtigsten Dank für die Erlaubniss, diese Beobachtungen veröffentlichen zu dürfen.

Berlin, im Juli 1879.

Studien über den Einfluss der Erdwärme auf die Ausführbarkeit von Hochgebirgstunneln.

Von

Dr. F. M. Stapff,

Ingenieur-Geolog der Gotthardbahn, in Airolo.

In den letzten Jahrzehnten sind verschiedene Alpentunnelprojecte aufgetaucht, deren Urheber völlig übersehen zu haben scheinen, dass wegen der im Inneren der Erde herrschenden hohen Temperatur mit den bisherigen technischen Hülfsmitteln diese Projecte unausführbar sind. Da die Tunnelbau-Literatur keine, die bergmännische Literatur aber nur sehr wenige sichere Daten enthält, auf welche eine Beurtheilung dieser Frage basirt werden könnte, so will ich im Folgenden einige zu ihrer Lösung dienliche Materialien zusammenstellen und zu erörtern suchen: 1. bei welchem Temperaturgrad aus physiologischen Gründen unterirdische Arbeit unmöglich wird; 2. bei welcher Höhe des über dem Tunnel liegenden Gebirges dieser Temperaturgrad zu erwarten ist.

Da ich weder Arzt noch Physiologe bin, so habe ich behufs Beantwortung der ersten Frage den Berliner Physiologen Hrn. Professor E. du Bois-Reymond um Aufschlüsse gebeten und freue mich, im Folgenden einige den Gegenstand behandelnde briefliche Mittheilungen desselben vorlegen zu können. Auf den Rath des Hrn. du Bois-Reymond habe ich im Gotthardtunnel neuerdings an mir und an Arbeitern Beobachtungen angestellt, auf welche sich viele der nachfolgenden Berechnungen stützen. Dem lebhaften Interesse, womit Hr. du Bois-Reymond diesen Versuch auf einem mir fremden Gebiet verfolgt und bereitwilligst unterstützt hat, ist es überhaupt zu danken, wenn derselbe nicht ganz erfolglos geblieben sein sollte. Die zweite Frage hat mich seit Beginn meiner Thätigkeit am Gotthard-Tunnel beschäftigt, so dass zu ihrer Beantwortung ein reichliches, im Verlauf von fast sechs Jahren gesammeltes Material zur Verfügung steht.

Erster Abschnitt.

I. Temperaturgrad, bei welchem unterirdische Arbeiten unmöglich werden.

Beim Vergleich hoher Temperaturen, welche Menschen erfahrungsgemäss ohne Nachtheil ertragen können, stösst man auf eine Menge scheinbarer Widersprüche theils zwischen den einzelnen Erfahrungen, theils zwischen diesen und physiologischen Nothwendigkeiten. Diese Widersprüche lösen sich aber, sobald man die verschiedenen Umstände berücksichtigt, unter welchen die beobachteten Erscheinungen statthaben. Es ist nicht nur der Temperaturgrad, welcher die Möglichkeit des Aufenthaltes an einem gegebenen Ort bestimmt; gleichzeitig mit demselben kommt auch in Betracht: die Gewöhnung an diesen Temperaturgrad (Accommodation, Acclimatisation); die Zeitdauer, während welcher man ihm ausgesetzt ist; die Anstrengung, womit man in ihm arbeitet; die Beschaffenheit der Luft, in welcher man sich aufhält, und zwar besonders ihr Feuchtigkeitszustand.

Albuminlösung trübt sich bei 60° und coagulirt bei 75°; dadurch ist bekanntlich dem Leben überhaupt bei steigender Temperatur eine Grenze gesetzt. Viel früher wird aus Gründen, die wir nicht genau kennen, das Leben der meisten Organismen, in's Besondere der Säugethiere und des Menschen, unmöglich; die chemischen Processe, welche grossentheils das Leben ausmachen, können nur innerhalb gewisser Grenzen von statten gehen.

Dieser Satz wird auch nicht durch die schon im vorigen Jahrhundert gemachte Erfahrung umgestossen, dass Bäcker in einem Ofen einige Minuten bei 130° verharrt seien. Aehnlich hohen Temperaturen setzen sich wohl ganz vorübergehend auch die Arbeiter aus, welche nach beendetem Brand Ziegel- oder Porzellanöfen austragen. Man wird aber daraus ebensowenig schliessen wollen, dass die menschliche Organisation geeignet ist in so hohen Temperaturgraden zu existiren, als man aus den Thatsachen, dass in Skandinavien junges Volk durch die Mittsommerfeuer springt, oder dass asiatische Nomadenstämme ihr Vieh durch Feuer treiben, um es vor Seuchen zu schützen, auf die Feuerfestigkeit dieser Leute und Thiere schliessen wird. Zurückhalten des Athems, Ueberzug des Körpers mit einer in der umgebenden trockenen Luft rasch verdunstenden Schweissschicht, ganz unzureichende Zeit für Mittheilung der äusseren Wärme an den (bekleideten) Körper, erklären diese und eine Menge ähnlicher Anomalien zur Genüge. Bekanntlich hat Boutigny gezeigt, dass man ohne Gefahr am eigenen Körper sogar den Leidenfrost'schen Versuch anstellen kann.

Einer jeden Isothermenkarte kann man die hohen Temperaturgrade entnehmen, unter welchen tropische und subtropische Völker leben. Beispielsweise seien die klimatischen Verhältnisse von Batavia (6° 11′ S. Br., 8 m ü. M.) angeführt, wo im Verlauf des Jahres der Dunstdruck zwischen 19·7 und 21·8 mm, die relative Feuchtigkeit zwischen 78·9 und 88·1 %, die Lufttemperatur (Mittel: 26·0°) zwischen 20·8 und 33·0° schwankt. Die an sehr hohe Temperaturgrade gewöhnten Eingeborenen machen sich die Hitze durch möglichste Verminderung körperlicher Anstrengung erträglich; — in der That ist die an Südländern so vielfach getadelte Faulheit eine Bedingung für ihre Existenz. Die Acclimatisation von Europäern in Batavia ist immer mit Schwierigkeiten, häufig mit Lebensgefahr verknüpft, und ich habe gehört, dass dort einmal acclimatisirte Europäer fast ohne Ausnahme wegsterben, wenn sie nach längerem Aufenthalt in Europa wieder nach Java zurückkehren.

Als ungewöhnlich hohe Temperaturgrade ausserhalb der Wendekreise seien jene erwähnt, welche verflossenen Winter in Südaustralien herrschten. Im November 1878 soll die Temperatur in Neusüdwales (29—30° S. Br.) 45—47·5°, im Februar 1879 in Gippsland (Victoria), unter ungefähr 37½° S. Br., 35° im Zimmer, 51·25° C. in der Sonne erreicht haben. Ausser Wegtrocknen der Viehweiden und Buschfeuern veranlasste die ungewöhnliche Hitze Sonnenstiche unter den Eingewanderten.[1]

Beim Bau der St. Louis- und South-Eastern-Eisenbahn, wo ich im Jahre 1870 als Assistent des Oberingenieurs beschäftigt war, erlagen im Juli und August von etwa 300 zwischen dem sumpfigen Missisippibottom und Belleville beschäftigten Arbeitern gegen 16 dem Sonnenstich. Die höchste um jene Zeit zu Belleville (ungefähr 39° N. Br.) beobachtete Temperatur betrug 40°; fast alle betroffenen Arbeiter waren neueingewanderte, also noch nicht acclimatisirte, Irländer. Obwohl ich fast täglich vom Morgen zum Abend auf der Linie arbeitete, spürte ich während des Baues kein Unwohlsein, und erst nach Beendigung desselben trat im October hartnäckiges Wechselfieber ein, welches nicht eher wich, als bis ich die Gegend verliess, und nach dem nordmexikanischen Staat Nuevo Leone (25° N. Br.) als Ingenieur der Vallecillo-Silvermining-Comp. gieng. Bei einer Sommertemperatur von (Mittags) 38·9—40·6° arbeiteten

---

[1] Im Mai 1877 hatte Hr. Babuchin in seinem Arbeitszimmer in Oberegypten 38·75, im Hofe seiner Wohnung oft 52·5° C. (*Dies Archiv.* 1877. S. 273.) Hr. Nachtigall hat auf seinen afrikanischen Reisen eine Schattentemperatur von 49·4 ausgehalten, allerdings bei sehr trockener Luft, und nur mit grösster Beschwerde und tiefer Herabsetzung der Leistungsfähigkeit auch seiner eingeborenen Begleitung. [E. d. B.-R.]

daselbst die „*Indios civilisados*“ lieber im Freien, selbst vor den offenen schottischen Bleiherden, als in der Grube, wo ich eine Maximaltemperatur von 25° beobachtet habe. Die Grubenarbeiten verrichteten sie ohne jegliche andere Bekleidung als Filz, Schurz und Moccassins; die Hüttenarbeiten dagegen in verhältnissmässig dicker Kleidung, namentlich auch zwei und dreifach übereinander gestülpten Filzhüten. Weder diese Eingeborenen noch die eingewanderten Europäer und Amerikaner spürten von der Gruben- und Hüttenarbeit in diesem Klima irgend welche nachtheilige Folgen. Allerdings war die Luft rein; zur Mittagszeit setzte ein starker, zwar heisser, aber trockener Süd-Ostwind ein, und die heiteren Nächte waren kühl und erfrischend.

Diese Beispiele illustriren genügend die alte Erfahrung, dass Eingeborene 40—50° ihres tropischen Heimathklima's bei geringer Anstrengung wohl ertragen, und dass sich Europäer in den Tropen acclimatisiren können. Ohne Acclimatisation wird letzteren aber anstrengende Arbeit bei 40° im Freien lebensgefährlich, zumal in feuchter Luft. Die Folgen des Aufenthaltes (selbst ohne anstrengende körperliche Arbeit) in ungewohnt feuchter und warmer Luft zeigen sich übrigens oft erst nachträglich bei Einwirkung von Miasmen durch Wechselfieber u. d. m.

Recht hohen Temperaturen sind die Arbeiter in manchen Fabriken ausgesetzt. In Zuckerraffinerien z. B. erfolgt das Ablaufenlassen des Syrups von den Broden bei 30—36°; das Trocknen der letzteren bei 50°; die Arbeiter verweilen aber nicht lange in so warmen Räumen, sondern sie kommen und gehen.

Dr. K. Martin in Jena schriebt mir: „Unser pathologischer Anatom Müller sagt, dass Menschen auf kurze Zeit ganz wohl in 50° C. arbeiten können. Aber bei solcher Temperatur im Tunnel müssten in der That die Arbeiter oft wechseln, etwa alle paar Stunden. Es wird dabei gewiss sehr auf Individualitäten ankommen. Heizer auf Dampfern, welche heisse geschlossene Meere, z. B. das rothe Meer, befahren, müssen jedenfalls auf kurze Zeit, d. h. stundenlang, noch viel grössere Temperaturen aushalten. Minutenlang müssen solche Feuerarbeiter gewiss colossale Temperaturen ertragen“.

Vorstehende Bemerkungen veranlassten mich, Hrn. Contre-Admiral F. Batsch um Aufschlüsse über die in Heizräumen von Kriegsschiffen herrschenden Lufttemperaturen zu bitten, und hat derselbe gütigst meiner Bitte entsprochen durch Zusendung folgender eingehender Antworten auf meine Fragen.

„1. Welche Maximaltemperaturen herrschen in tropischen Meeren in den Heizräumen der Dampfschiffe?[1]

Jahreszeit.	In welchen Meeren oder Häfen.	Maximaltemperaturen in Graden nach Celsius.		
		Maschinen-raum.	Heiz-raum.	Kohlen-raum.
	Sr. M. S. „Ariadne“. Glattdecks-Corvette.			
October 1874	Nordsee.	36	58	—
	Atlantischer Ocean . . .	37	52	—
	Mittelländisches Meer . .	40	59	—
November 1874	Rothes Meer	50	67	40
	Indischer Ocean	43	64	—
	Malakka-Strasse	46	69	—
Januar 1875	Manila	48	65	43
	Chinesisches Meer . . .	29	50	27
April 1875	„ „ . . .	41	46	30
Mai 1875	Hongkong-Arnoi	44	59	29
Mai 1876	Formosa-Strasse	36	59	28
Juli 1876	Chinesisches Meer . . .	45	64	35
August 1876	Banka-Strasse	37	58	34
	Java	32	57	33
September 1876	Golf von Bab-el-Mandeb .	43	60	39
	Rothes Meer	34	62	33
	Port-Saïd	38	68	30
	Mittelländisches Meer . .	34	62	32
	„ „ . .	36	59	31
October 1876	Strasse von Gibraltar — Lissabon	39	60	33
	Sr. M. S. „Friedrich Carl“. Panzerfregatte.			
December 1872 Januar 1873	Caraibisches Meer . . .	48	52	52
April 1873	Atlantischer Ocean (Fayal)	37	35	35
Juli 1873	Mittelländ. Meer (Malaga)	52	45	32/30
August 1873	„ „	54	46	—
September 1873	„ „	52	42	—

[1] Es fehlt leider an Auskunft darüber, wie die Thermometer in den betreffenden Räumen angebracht, ob sie nicht z. B. an den Eisenwänden hingen, da sie dann eine höhere Temperatur anzeigen würden, als bei freier Aushängung im Raume.

Jahreszeit.	In welchen Meeren oder Häfen.	Maximaltemperaturen in Graden nach Celsius.		
		Maschinen-raum.	Heiz-raum.	Kohlen-raum.
	Sr. M. S. „Augusta". Glattdecks-Corvette.			
Mai 1874	Barbados	34	65	—
Juni 1874	In See	28	58	30
Juli 1874	Nach Bahia	31	52	30
August 1874	„ Rio de Janeiro . .	34	55	30
August 1874	„ Santos	30	50	24
	„ Montevideo . . .	28	50	28
September 1874	„ Santa Catarina . .	32	57	25
	Rio de Janeiro — Bahia .	32	62	32
October 1874	Nach Maceyo.	32	66	32
	„ Georgetown . . .	35	57	30
	„ Barbados	33	60	—
November 1876	Nord-Atlantischer Ocean	38	49	27
December 1876	Süd- „ „	32	41	30
Februar 1877	Indischer Ocean	28	50	28
	Grosser Ocean	37	40	28
März 1877	Auckland	36	43	29
April 1877	Grosser Ocean	37	43	29
Juli 1877	Apia	34	39	30
	Levucka	37	40	30
August 1877	Südsee	38	40	31
September 1877	do.	23	33	22
October 1877	do.	37	38	30
	Tongatabu	33	30	29
November 1877	Vavao	31	32	30
	In See	40	44	39
December 1877	Apia	43	54	40
Januar 1878	do.	39	46	27
Februar 1878	Grosser Ocean	35	41	30
Mai 1878	Japan	33	44	29
Juni 1878	Gelbes Meer	39	46	30
	Nangasaki	38	48	30
Juli 1878	Gelbes Meer	37	48	30
	Süd-Chinesisches Meer .	42	58	33

Jahreszeit.	In welchen Meeren oder Häfen.	Maximaltemperaturen in Graden nach Celsius.		
		Maschinen-raum.	Heiz-raum.	Kohlen-raum.
	Sr. M. S. „Augusta". Glattdecks-Corvette.			
August 1878	Sunda-Strasse	42	62	31
	Indischer Ocean	43	55	33
September 1878	Golf von Bab-el-Mandeb .	42	61	35
	„ „ „ „	45	63	37
	Rothes Meer	40	63	37
	Suez-Kanal	40	60	37
	Mittelländisches Meer . .	38	48	34
	„ „ . .	37	43	32
	Gibraltar	35	45	27
October 1878	„	35	51	36
	Atlantischer Ocean . . .	33	63	27

2. Welches sind die Folgen dieser hohen Temperatur auf die Heizer?

Wie aus der Tabelle ersichtlich, wird das ganze Maschinen-Personal, nicht nur Heizer, sondern auch Maschinisten, Maschinisten-Maate und Feuermeister der hohen Temperatur in den Maschinenräumen eines Schiffes ausgesetzt. Hierbei wird der Grund zu oft unheilbaren Krankheiten gelegt, die schnell auftreten und ungünstig verlaufen. Hierhin gehören namentlich Brust- und Lungenleiden, Gehirnaffectionen, Dysenterie, Magenleiden, Rheumatismus. Die Leute sind während und nach der Wache vor zu rascher Abkühlung und vor zu schnellem, kaltem und vielem Trinken möglichst zu hüten und ist, wo diese Vorsicht nicht angewendet wurde und eine zu plötzliche Abkühlung eintrat, der Tod schon in vierundzwanzig Stunden erfolgt. — Zum Trinken wird officiell Haferschleim oder eine Theeabkochung, Limonade und zeitweise ein Schnaps gegeben, auch suchen sich die Leute selbst, wenn irgend angängig, Kaffee, Limonade, auch einen Zusatz von Wein oder Rum zum Wasser, oder Brodwasser (Kalte Schale) zu verschaffen. Eine sehr lästige Zugabe zu der hohen Temperatur bildet ausserdem noch der Kohlenstaub sowohl in der Fahrt beim Heranschaffen der Kohlen vor die Feuer als auch beim Einnehmen und Verstauen derselben in die Kohlenräume, namentlich wenn letzteres, wie auf Kriegsschiffen, schnell geschehen muss. Zum

Schutz gegen diesen Staub nehmen die Heizer in Ermangelung geeigneter Respiratoren etwas Wischbaumwolle zwischen die Lippen. Das Einathmen von zu viel Staub in hoher Temperatur hat neben sonstiger Erschlaffung heftiges Erbrechen zur Folge; doch ist, Ausnahmefälle abgerechnet, gemeinhin nur eine Erholung von zwei bis vier Tagen nöthig und können dann die Leute zu weiterem Dienste herangezogen werden.

3. Wie lange dürfen oder müssen die Leute ununterbrochen in den Heizräumen sich aufhalten?

Das Personal, welches für die Ausführung des ununterbrochenen Dienstes bei den Maschinen und Kesseln eines Kriegsschiffes nöthig ist, wird so bemessen, dass die Leute in drei Wachen getheilt werden können. Jede Wache hat ununterbrochen vier Stunden Dienst und nächstdem acht Stunden Ruhe, welche bei Tage noch durch etwas Exerciren und Instructionsdienst unterbrochen wird. Eine Verkürzung des Maschinendienstes ist bis jetzt nur beim Passiren des Rothen Meeres vorgekommen und werden hier Eingeborene zum Heizen engagirt, während die eigenen Leute bei Ablösung von zwei Stunden Kohlen heranschaffen. Eine gleiche Verkürzung des Arbeitsdienstes findet beim Kohleneinnehmen und -verstauen in heissen Gegenden statt, sonst ist eine frühere Ablösung der Leute als nach vierstündiger Wachezeit, veranlasst durch zu grosse Ermattung, nur in einzelnen Fällen vorgekommen und als Ausnahme zu betrachten. Am meisten strengen die Aus- und Heimfahrten der Schiffe nach und von auswärtigen Stationen an, wenn dieselben beschleunigt werden müssen. Eine Erholung tritt dann nur ein oder es ist theilweise als solche anzusehen, wenn die Schiffe zur Fahrt ausschliesslich ihre Segelkraft in den Passatgegenden benützen können. Das Maschinenpersonal wird dann während der Tageszeit zu Reinigungs- und Reparaturarbeiten der Maschinen und Kessel verwendet und hat während der Nachtzeit Ruhe, mit Ausnahme zweier Wachtposten in der Maschine bei zweistündiger Ablösung oder der Bedienung des Destillirapparates mit Kessel bei vierstündiger Ablösung.

4. Thut man (von Ventilation abgesehen) etwas zur Herabsetzung der Temperatur in den Heizräumen?

Um einen Verlust an Wärme zu verhindern, werden die äusseren Kesselwände, mit Ausschluss der Stirnwände und Böden, sowie die Dampfrohre mit einer Bekleidung aus schlechten Wärmeleitern (Filz, Holz u. s. w.) versehen und erhält der Schornstein aus Eisenblech einen Mantel von gleichem Material, der von ersterem bis zu 15 ^{cm} Entfernung

abstellt. Diese Einrichtung trägt neben ihrem Hauptzweck, den Wärmeverlust zu verhindern, auch zur Herabsetzung der Temperatur in den Heizräumen bei. Zur hauptsächlichsten Verminderung der Temperatur dienen die Ventilatoren (Rohre) für die Zuführung frischer und diejenigen für die Abführung der heissen und schlechten Luft. Die ersteren werden auf Deck mit drehbaren Köpfen (trompetenartig) versehen, um dieselben stets gegen den Wind bringen zu können, unten münden sie trichterförmig bis auf etwa Mannshöhe von dem Fuss des zu ventilirenden Raumes. Zur Zuführung frischer Luft dienen ferner die am Vor- und Achterende eines jeden Heizraumes angebrachten Luken, die aber, wenn sie wirksam sein sollen, durch eine vertikale Scheidewand von dem Heizraum getrennt sein und die frische Luft möglichst tief nach unten abgeben müssen. Die Abführung der heissen Luft kann einerseits durch die oben angeführten Luftzuführungsrohre bewirkt werden, indem man deren drehbare Köpfe mit dem Winde stellt, dieselbe wird aber in der Neuzeit hauptsächlich durch die Exhaustoren bewirkt. Es sind dies Rohre von rechteckigem Querschnitt, welche im Schornstein angebracht unten gegen den Heizraum offen sind und oben bis zu etwa ein Fünftel vor der Schornsteinhöhe münden. Die heissen Gase, welche die Rohre bei ihrer Entweichung durch den Schornstein umgeben, verdünnen die oberen Luftschichten und ermöglichen so ein Nachdrängen und beschleunigtes Entweichen der heissen Luft in den Kesselräumen. Zur weiteren Abführung der heissen Luft in den Kesselräumen werden auch noch die Podeste, welche in den Decks der Schiffe für den Durchgang der Schornsteinmäntel angebracht sind, oben und an den Seiten mit verschliessbaren Oeffnungen versehen. Schliesslich werden auf grossen Schiffen oder solchen, deren Dienst- und Wohnungsräume ausschliesslich unter Wasser liegen und deshalb geschlossen sein müssen (Panzerthurmschiffe wie „Thunderer“, „Devastation“ u. s. w.), auch noch Ventilatoren angewendet, welche, als Turbinenräder, von kleineren Dampfmaschinen betrieben die Luft in die betreffenden Räume zu- oder aus denselben abführen.“

Ungewöhnlich hohe Temperaturgrade werden bei Bädern zugelassen (heisse 37·5—45°; finnische Dampfbäder 35—40°, während 20 und 25 Minuten; Tepidarien der irisch-römischen 32·5—40°; Sudatorien 56—65°; Sandbäder 37·5—50°): allerdings unter Verhältnissen, welche weit von jenen abweichen, unter denen man in gleich warmer Luft längere Zeit verweilen oder arbeiten könnte.

Ueber die äussersten Temperaturgrenzen, bei welchen unterirdische Arbeiten noch ausführbar oder zulässig sind, mangelt es bisher leider an genügenden Beobachtungen. In England lässt man in Förder- und

Fahrschächten ausziehende Wetter mit höchstens 27—32° zu,[1] und in Belgien nimmt man als Temperatur der ausziehenden Wetter 22·5—34·5° an.[2]

1818 wurden in der Fahlunkupfergrube zwei Verhaue („Mellanrumsorten" und „Myrbadsänkningen") aufgemacht, in denen der Grubenbrand von 1798 gewüthet hatte. Nach Wallmann herrschte daselbst eine Temperatur von 52°, bei welcher also wenigstens die mit dem Aufmachen dieser Räume verknüpften Arbeiten statt hatten. 1820 wurde in dem gleichfalls vom Grubenbrande heimgesuchten „Rålamstak" bei 30° gearbeitet. 1871 beobachtete Nordenström in „Flottgropen" 30°; zu Anfang der sechziger Jahre wurde die Arbeit in einem Bruchort eingestellt, dessen Temperatur ich gelegentlich Grubenmessungen 33° fand; allerdings machte daselbst der Staub der verwitterten Kiese, welcher die Haut der nackten Bergleute tintenschwarz beizte, die Arbeit vielleicht noch lästiger als die Hitze.

Zu diesen Beispielen ist zu bemerken, dass die natürliche Ventilation der Faluner Grube eine vorzügliche ist.

Hr. Quintino Sella erzählte mir, dass er in einer Grube in Cornwallis einen Arbeitsraum besuchte, wo die Lufttemperatur wegen Zersetzung von Kiesen „wohl 40°" betrug. Die Leute arbeiteten immer nur ganz kurze Zeit, „etwa 10 Minuten," und stürzten sich dann, nackt wie sie waren, in einen benachbarten kühlen und sehr nassen Raum, wo sie sich durch Abwaschen erfrischten, um sodann, bei eintretendem Frösteln, ihre Arbeit wieder auf kurze Zeit fortzusetzen.

Nach Angaben, für welche die literarische Gewähr mir nicht zur Hand ist, hat der Silberbergbau in der Sierra Nevada der Rocky Mountains neuerdings stellenweise solche Tiefe erreicht, dass die Erdwärme fernerer Ausbeutung der Gänge ein unüberwindliches Hinderniss entgegenstellt.

Die höchste während des Baues des Mont-Cenis-Tunnels beobachtete Lufttemperatur betrug nach Ansted (bez. Giordano) 30·1° bei 6000 und 6448^m vom Südportal.

Auf die Temperaturverhältnisse des Gotthardtunnels werde ich weiter unten ausführlicher zu sprechen kommen und will hier nur vorläufig erwähnen, dass in der mit Feuchtigkeit übersättigten Luft der Südseite bei ungefähr 31°, in der etwas trockneren der Nordseite bei ungefähr 29° im März d. J. anstandslos gearbeitet wurde.

Da die hier zusammengestellten Erfahrungen zur Beantwortung unserer Frage nicht ausreichen, so habe ich bei Aerzten Erkundigungen einzuziehen gesucht. Einige meinten, dass anhaltende Arbeit in geschlossenen Räumen bei einer die Bluttemperatur (37·5°) übersteigenden

[1] Lottner-Serlo, *Bergbaukunde.* Bd. II, S. 162.

[2] Ponson, t. II, p. 98.

Wärme lebensgefährlich sei; andere, dass bei guter Ventilirung der Aufenthalt in trockenen Räumen bei 50° unschädlich sei.

Hören wir, was in dieser Unbestimmtheit die Physiologie zu rathen wusste. Hr. du Bois-Reymond schrieb mir unter dem 24. und 27. Februar, sowie unter dem 22. März d. J. Folgendes: „Die Frage, die Sie an mich richten, ob glaublich sei, dass Menschen und Arbeitsthiere auch noch bei einer um 10° höheren Temperatur würden arbeiten können, als die, bei der Sie gegenwärtig im Gotthardtunnel es aushalten (30°) ist nicht glattweg zu beantworten, sondern die Antwort hängt von Nebenumständen ab.

Die Erfahrung hat schon sehr früh (vor hundert Jahren in England) gelehrt, dass Menschen ungeheuer hohe Temperaturen, ja die des siedenden Wassers vertragen, wenn die Luft trocken ist. Das Gesicht röthet sich, perlender Schweiss bricht aus, und bei seinem Verdampfen wird soviel Wärme gebunden, dass die Temperatur des Körpers sich nur wenig über die Norm erhöht. Freilich muss gesagt werden, dass in solchen Versuchen die Personen sich nur kurze Zeit den hohen Temperaturen aussetzten und sich ruhig verhielten.

Versuche der Art sind seitdem vielfach an Thieren mit gleichem Erfolg wiederholt worden. Dabei ist von Rosenthal[1] z. B. festgestellt worden, dass die Temperatur von Kaninchen in Luft von 36° C, die sie nur durch ihre eigene Ausdünstung feucht machten, bis zu 42° stieg, ohne dass das Leben der Thiere auch bei längerer Fortsetzung des Versuches gefährdet war. Bei Temperaturen bis zu 40° stieg die Temperatur des Thieres schnell bis zu 45°, die Thiere lagen in äusserster Erschlaffung da und suchten instinctmässig eine Lage, bei der sie am meisten Wärme abgeben konnten; unter diesen Umständen trat äusserst leicht der Tod ein.

Bemerkenswerth ist, dass ein so behandeltes und mit dem Leben davon gekommenes Thier mehrere Tage hinterher stets eine niedrigere Temperatur als die Norm zeigt. Die Physiologen erklären dies dadurch, dass die Musculatur der Hautgefässe dauernd gelähmt wird, so dass durch die erweiterten Gefässe mehr Blut in der Zeiteinheit strömt und dies Blut in grösserer Oberfläche mit der Aussenwelt in Berührung kommt.

Sie sehen, dass sich aus diesen Versuchen für Sie zunächst der Fingerzeig ergeben würde, sich nicht mit Temperaturmessungen von Gestein und Luft zu begnügen, sondern auch Temperaturmessungen an den Mannschaften anzustellen. So lange deren Temperatur nicht über 40° steigt (was schon einer tüchtigen Typhusfieberhitze entspricht) könnte man die Sache mit ansehen. Wenn sie sich schnell über 40° erhöbe, möchte

[1] *Zur Kenntniss der Wärmeregulirung bei den warmblütigen Thieren.* Erlangen 1872.

ich ferneres Verharren nicht verantworten. Sehr interessant wäre es, zu erfahren, ob die Individuen nachher niedriger temperirt gefunden werden.

In möglichst ausgetrockneter Luft ist es also wohl denkbar, dass Menschen bei 50° aushalten, und ich sollte meinen, dass Hochofenarbeiter und andere Feuerarbeiter es schon bei höherer Temperatur aushielten; ja sogar in tropischen und subtropischen Gegenden sind Lufttemperaturen von 40° nichts Seltenes, und werden von Eingeborenen und acclimatisirten Europäern gut ertragen.

Ganz anders gestalten sich die Dinge, wenn, wie Sie angeben, die Luft mit Feuchtigkeit gesättigt ist. Dann sowohl, wie auch beim Eintauchen des Körpers in heisse Bäder, wird ungleich schneller und schon bei niederen, d. h. die Blutwärme nicht übersteigenden, Temperaturen die Grenze der Gefahr erreicht, und wenn die Luft nahe gesättigt ist, halte ich es a priori nicht für möglich, dass Leute in 50° warmer Luft es aushalten; in mit Wasser gesättigter Luft ist es fast gewiss, dass eine Temperatur von 40° lebensgefährlich werden würde. Luft, welche nur $1/4$ des zu ihrer Sättigung nöthigen Wassers enthält, erscheint uns sehr trocken. Da die Luft unter den gewöhnlichen Umständen die Sättigung selten erreicht, und uns doch schon sehr schwül erscheint, spielt sicherlich die Feuchtigkeit die grösste Rolle bei unserem Behagen schon unter gewöhnlichen Umständen, und eine geringe Verminderung des Wassergehaltes der Luft kann von grosser Wichtigkeit sein. Der Sauerstoffgehalt spielt innerhalb ziemlich weiter Grenzen keine grosse Rolle, aber schädliche Gase, namentlich Kohlenoxydgas in kleinster Menge, sind natürlich sehr bedenklich.

Dass die Pferde und Maulthiere die hohe Temperatur in halbfeuchter Luft schlechter aushalten als die Menschen[1], lässt sich so verstehen, dass sie als grössere Thiere im Vergleich zu ihrer Körpermasse eine geringere Oberfläche haben, und also weniger verdampfen.

Das Hauptmittel, um die hohen Temperaturen erträglich zu machen, würde dem Gesagten zufolge darin bestehen, die Luft auszutrocknen. Ob dies praktisch ausführbar wäre, bin ich nicht in der Lage zu beurtheilen. Ich glaube aber sicher, dass eine Lowry ungelöschten Kalkes, obschon sie sich beim Löschen erhitzen würde, den Leuten mehr wirkliche Kühlung brächte, als eine Lowry Eis, welche die Luft noch feuchter machte.

---

[1] Anm. bei der Correctur. Von 42 im Tunnel zu Airolo beschäftigten Pferden starben im November und den ersten Wochen December d. J. 12, ausserdem liegen heute (19. XII) 8 krank im Stall. Zu Göschenen starben im November und den ersten Tagen December 15 Tunnelpferde. Es sollen besonders Lungen, Leber und Herz der gefallenen Thiere krankhaft gewesen sein. Dr. Foderé in Göschenen hält Anämie für die wesentlichste Krankheit der Tunnelpferde.

Am zweckmässigsten dürfte aber die Combination beider sein, namentlich, wenn man die Eislowry mit Viehsalz überschüttete, was den Vortheil böte, dass wegen der höheren Dampfspannung der Salzlösung das Eis dann nicht dazu beitrüge, die Luft noch feuchter zu machen. Ich sollte meinen, dass wenn nun gleichzeitig von der Mündung her frische Luft eingeblasen würde, auch bei einer Gesteinstemperatur von 50° noch würde gearbeitet werden können. Es müssten kurze Schichten gemacht und die Temperatur der Arbeiter kunstgerecht mit physiologischen Thermometern geprüft werden. Das Thermometer im Mund oder in der Achselhöhle wird die Grenze der Gefahr anzeigen, welche ich, um sicher zu gehen, bei 40° Wärme der gedachten Punkte normiren würde.[1] Ich würde es nicht für unverständig halten, den Leuten Eispillen mit etwas Branntwein (um der verderblichen Wirkung des destillirten Wassers auf die Magen- und Darmschleimhäute vorzubeugen) alle zehn Minuten schlucken zu lassen.“

Soweit Hr. du Bois-Reymond.

Durch Vorstehendes sind wir zunächst zu dem gewichtigen Resultat gelangt, dass aus physiologischen und empirischen Gründen die Tunnelarbeit überhängend gefährlich wird, sobald durch die Verhältnisse, unter denen sie stattfindet, die Körperwärme der Arbeiter auf 40° gesteigert wird; und dass *a priori* als höchste statthafte äussere Temperatur angenommen werden darf: 40°, wenn die eingeathmete Luft feucht; 50°, wenn sie ganz trocken ist.

Hrn. du Bois-Reymond's Rath folgend habe ich zunächst an Tunnelarbeitern, dann aber an mir selbst eine Reihe von Beobachtungen angestellt, deren nächstes Ziel war, festzustellen, in welcher Abhängigkeit unter gegebenen atmosphärischen Verhältnissen die Körperwärme steht zur Temperatur der umgebenden Luft und zur Anstrengung, womit man in derselben arbeitet.

Die Luftbeschaffenheit im Gotthardtunnel lässt sich nach folgenden Momenten beurtheilen.

[1] Eine sehr witzige Art die Temperatur des Körpers zu bestimmen, erzählte neulich Hr. Helmholtz in der physiologischen Gesellschaft. Sie besteht darin, die Temperatur des frischgelassenen Harnes zu messen. Der Harn wird mit der Temperatur des kleinen Beckens, 38—39°, gelassen. Es gelang Helmholtz, als er noch in Heidelberg war, die Temperaturerhöhung seines Körpers durch die Muskelanstrengung bei möglichst schnellem Besteigen des etwa 200 m hohen Gaisberges von seinem Haus aus dadurch nachzuweisen, dass er vor und nachher die Temperatur des Harnes maass: oben fand er sie um etwa 1° höher. (Aus Hrn. d. B.-R.'s Brief.)

A. Göschener Seite.

Im Februar 1879 betrug der Tunnelhohlraum 231280 cbm, wovon 124750 cbm fertiger Tunnel. Da in der fertigen Strecke keine Arbeit von Belang verrichtet, die Ventilation derselben auch durch den natürlichen Luftzug wesentlich mit bewirkt wird, so müssen wir hier von selbiger ganz absehen und in unseren Rechnungen den 106530 cbm betragenden Hohlraum der eigentlichen Arbeitsstellen einführen.

In den Tunnel wurden täglich im Mittel 92490 cbm Luft atmosphärischer Spannung gepresst.[1] Nehmen wir an, dass dieselbe mit 0° angesaugt wurde, so nimmt sie bei 25° (mittlerer Tunneltemperatur) ein Volumen von 100893 cbm ein. Es wurden im Mittel täglich 296·4 kgr Dynamit verwendet, welches 148·2 cbm Sprenggase von 0°, oder rund 161·5 cbm von 25° liefert.[2]

Im Tunnel gleichzeitig beschäftigt waren im Mittel 423 Mann mit 361 Lampen und 10 Zugthiere. Rechnet man, wie üblich, den Luft-

[1] Die veröffentlichten Berichte geben 110987 cbm an, unter der Voraussetzung eines Nutzeffectes der Compressoren von 0·6. Nach Hrn. Stockalper's directen Versuchen beträgt letzterer aber nur circa 0·5. Desshalb habe ich hier auch nur $^5/_6$ der Ziffernangabe der Berichte einführen können.

[2] Nach einer 1866 in Stockholm herausgegebenen Brochure der Nitroglycerin-Actiengesellschaft: „*Om Nitroglycerin, Nobel's Patentsprängolja*", giebt 1 Liter = 1·6 Kilogr. Nitroglycerin 1142 Liter Sprenggase (bei 0°). Da 1 Kilogr. Dynamit rund 0·7 Kilogr. Nitroglycerin enthält, so resultiren bei der Explosion desselben 500 Liter Gas, bez. etwa 545 Liter von 25°. Die Zusammensetzung der Nitroglycerin-Sprenggase bei 0° wird angegeben zu:

Wassergas . . .	34·8	Volumprocente
Kohlensäure . . .	41·1	„
Sauerstoff . . .	3·4	„
Stickstoff	20·7	„
	100·0,	

doch gründet sich diese Angabe auf stöchiometrische Berechnung, nicht auf Erfahrung. Letztere deutet auf eine grosse Ungleichheit in der Zusammensetzung der Sprenggase, je nach den Verhältnissen, unter denen sie sich entwickeln. Bei der Detonation in nassen Sprenglöchern bildet sich unter Anderem mehr oder weniger salpetrige Säure, so dass der Rauch die Augenlider brennt, zu Krampfhusten reizt und asthmatische Beschwerden verursacht. Die Verbrennung von Dynamit (ohne momentane Explosion) giebt einen unausstehlichen, selbst gefährlichen Rauch, welcher (nach seinen Wirkungen zu schliessen) Kohlenoxydgas enthalten dürfte; ebenso verderblichen Rauch entwickeln dynamitartige Sprengstoffe, bei denen gekohlte organische Substanzen als Absorptionsmittel des Nitroglycerins dienen. Ein paarmal habe ich (ohne die Ursache ermitteln zu können) deutlichen Blausäuregeruch des Dynamitrauches wahrgenommen. Endlich glaube ich, dass hauptsächlich verstäubtes, im Rauch suspendirtes, Nitroglycerin jene Anfälle von Augenreiz, Kopfschmerzen, Schwindel, Magenbeschwerden verursacht, über welche Leute fast stets klagen, welche sich noch nicht an den Dynamitrauch „gewöhnt" haben.

verbrauch einer Lampe gleich dem eines Mannes, jenen eines Pferdes (oder Maulthieres) gleich dem von 5 Mann, so gelangen wir zu einer ideellen (luftverzehrenden und luftverderbenden) Leutezahl von 834.

Hiernach entfällt auf 1 (ideellen) Mann:

127·7 Kubikmeter Arbeitsraum
121·1 „ frische Luft von 25°, pro 24 Stunden
0·2 „ Sprenggase „ 25°, „ „ „

und auf 1 Kubikmeter Arbeitsraum:

0·0078 ideelle Menschen
0·9479 cbm frische Luft von 25° pro 24 Stunden
0·0015 „ Sprenggase von 25° „ 24 „

In Luftproben, welche ich auf Hrn. Oberingenieur Hellwag's Anordnung am 13. April 1876 bei 1940—50 m vom Nordportal sammelte und an Ort und Stelle einschmolz, fand Hr. Prof. Bunsen in Heidelberg:

Kohlensäure . . .	0·96
Sauerstoff	20·05
Stickstoff	78·99
	100·00

Obwohl damals die Luftcompressionsanlagen noch nicht erweitert waren, glaube ich doch, dass diese Analyse auch jetzt noch die allgemeine Zusammensetzung der Tunnelluft, wie sie von den Arbeitern meist geathmet wird, recht gut ausdrückt; denn gleichzeitig mit vermehrtem Luftdebit haben auch die Arbeiten an Ausdehnung zugenommen.

An demselben Tage fand ich in 1 cbm Tunnelluft:

Ort.	Staub		Summa.
	organischer (Russ). grm	anorganischer. grm	grm
58 m vom Portal, unter Gewölbe abziehend	0·075	0·100	0·175
1940—50 m v. P., nach Wegthun der Schüsse in Erweiterung	0·200	0·175	0·375
2974 m v. P., hinter Bohrgestell im Firststollen, nach beendetem Schuttern	0·200	0·150	0·350

Der Feuchtigkeitszustand der Tunnelluft hängt nicht nur von den Respirations-, Verbrennungs- und Explosionsproducten und dem mit der eingepressten Luft direct zugeführten Wasserdampf ab, sondern besonders auch von den Wasserzuflüssen im Inneren des Tunnels. Aus dem Göschener Tunnelportal fliessen 40—50 Liter Wasser in der Secunde, welche besonders bei 2610—2740 und 5000—6000 zusitzen; doch ist anzumerken, dass der fast nirgends ganz fehlende Bergschweiss und schwache Tropf mehr dazu beitragen, die Luft feucht zu machen, als geschlossen hervortretende Wasserstrahlen. Von grossem Einfluss auf die Verdunstung ist die Temperatur der zusitzenden Wässer; in der Regel war selbige niedriger als die des umgebenden Gesteines, so lange die Temperatur des letzteren 25° nicht überstieg; höher im entgegengesetzten Fall. Zwischen 5000 und 6000^{m} treten überdies Thermalquellen hervor, welche um 4° wärmer sind als nach der Höhe des überliegenden Gebirges u. s. w. geschlossen werden durfte. Sehr nachtheilig für den Trockenheitszustand der Luft sind stagnirende Wasserpfützen mit grosser Oberfläche und der aufgehäufte nasse Schmutz.

Am 14. März d. J. war der Feuchtigkeitszustand in Göschener Tunnelseite folgender:

		absolut.	relativ.
2500^{m} v. P. bei 666·1^{mm} auf 0° red.: Barom. u. Temp.:	21·7°:	18·8^{mm}	97·6%
3600^{m} „ „ „ 665·3^{mm} „ „ „ „ „	22·8°:	20·4^{mm}	98·6%
5310^{m} „ „ „ 664·2^{mm} „ „ „ „ „	27·3°:	26·9^{mm}	99·5%
6500^{m} „ „ „ 663·5^{mm} „ „ „ „ „	28·5°:	28·1^{mm}	97·0%

Eine „Vor Ort“[1] begonnene Beobachtung musste wegen Wegthuns der Schüsse abgebrochen werden, doch deutet dieselbe auf einen geringeren Feuchtigkeitsgrad daselbst.

An gleichem Tage war beim Sectionsbureau der Dunstdruck 3·3^{mm}; die relative Feuchtigkeit 100%; bei 655·3^{mm} Barometerstand und −4·2° Lufttemperatur.

B. Airolo-Seite.

Im Februar d. J. enthielt der Tunnelraum 206773^{cbm}, wovon 148428^{cbm} auf den fertigen Tunnel, 58345^{cbm} auf die Arbeitsräume entfallen. Täglich im Mittel 74550^{cbm} [2] frische Luft (von atmosphärischer Spannung) ein-

---

[1] Vor Ort heisst in bergmännischer Redeweise der am weitesten vorgetriebene Punkt eines Stollens.

[2] Die Berichte geben 120890^{cbm} unter Annahme von 60% Nutzeffect der Compressoren. Letzterer wäre nach Hrn. Stockalper's Versuchen (zu Göschenen) *caeteris paribus* auf 50% zu reduciren. Da aber die mittleren Hubzahlen der gleichartigen Compressionsmaschinen zu Göschenen und zu Airolo sich verhalten wie

geführt, entsprechend 82200^{cbm} von rund 28^0 (Mitteltemperatur der Arbeitsstellen). Dem täglichen Dynamitverbrauch von 143·6^{kgr} entsprechen 71·8^{cbm} Sprenggase (bei 0^0) oder 79·2^{cbm} bei 28^0. Gleichzeitig hielten sich im Tunnel (im Mittel) 280 Mann, mit 323 Lampen, und 15$^1/_3$ Zugthiere auf: zusammen entsprechend 780 athmenden Menschen. Auf 1 (ideellen) Mann kommt mithin:

74·8 Kubikmeter Arbeitsraum
105·4 „ frische Luft von 28^0 pro 24 Stunden
0·1 „ Sprenggase von 28^0 „ 24 „

und auf 1 Kubikmeter Arbeitsraum:

0·0134 ideelle Menschen
1·4089^{km} frische Luft von 28^0 pro 24 Stunden
0·0014 „ Sprenggase von 28^0 „ „ „

In einer Tunnelluftprobe, welche ich am 15./16. Mai 1876 bei 1460^m vom Portal gesammelt hatte, fand Hr. Bunsen

Kohlensäure	0·30
Sauerstoff	20·18
Stickstoff	79·52
Summa	100·00

An demselben Tage fand ich den Staubgehalt in je 1^{cbm} Tunnelluft:

Ort.	Staub organ. (Russ). grm	Staub anorganischer. grm	Summa. grm
150^m vom Portal, unter dem Gewölbe abziehend	1·3295	0·0625	1·392
1211^m v. P., Calotteweiterung, oberhalb Strasse, vor Bohrung	0·8175	0.0555	0·873
2980^m v. P., Vor Ort, hinter Bohrgestelle, Bohren in feuchtem Gestein ohne Wasserinjection . . .	0·1700	0·1750	0·600

$\frac{44 \cdot 5}{60 \cdot 3}$, so darf man an letzterem Orte füglich keinen höheren Effect voraussetzen als $\frac{50 \times 44 \cdot 5}{60 \cdot 3}$ = 37%, und muss obiges Luftquantum auf $\frac{120890 \times 37}{60}$ = 74550^{cbm} herabsetzen. (Vergl. oben S. 85, Anm.)

Die Feuchtigkeit der Luft ist wegen der viel bedeutenderen Wasserzuflüsse in der Südseite des Tunnels grösser als in der Nordseite, manche Wässer von 4000^{m} einwärts sind hepatisch.

Das Gesammtabflussquantum aus dem Südportal des Tunnels variirte im verflossenen Jahre (März 1878/79) zwischen 206 und 240 Liter pro Secunde von 11·8 à 13·4^{0} (nahe dem Portal).

Am 28. März 1879 war der Feuchtigkeitszustand der Luft folgender:

					absolut.	relativ.
2170^{m} v. P. bei	655·9^{mm}	Barometerstand,	21·0^{0}	Luftwärme,	18·4^{mm}	>100$^{0}/_{0}$
3700^{m} „ „ „	555·5^{mm}	„	27·9^{0}	„	28·6^{mm}	>100$^{0}/_{0}$
4600^{m} „ „ „	655·4^{mm}	„	30·6^{0}	„	32·6^{mm}	>100$^{0}/_{0}$
5900^{m} „ „ „	655·3^{mm}	„	30·2^{0}	„	32·0^{mm}	>100$^{0}/_{0}$
6031^{m} „ „ „	655·2^{mm}	„	28·6^{0}	„	27·1^{mm}	93·2$^{0}/_{0}$

An letzterem Punkt, circa 22^{m} hinter dem Bohrgestell v. O., variirte während des Maschinenbohrens der Dunstdruck zwischen 25·7—28·2^{mm}; die relative Feuchtigkeit zwischen 86·8 und 98·0^{0} bei 27·1—28·1^{0} Luftwärme.

Während dieser Versuche war der Feuchtigkeitszustand der äusseren Luft (beim Sectionsbureau): absolut 5·1^{mm}, relativ 100$^{0}/_{0}$, bei 655·8^{mm} Barometerstand; 1·7^{0} Lufttemperatur.

Während Arbeitsraum, Quantum der eingepressten Luft und der entwickelten Sprenggase (alles pro 1 Mann, bez. 1^{cbm} gerechnet), in beiden Tunnelseiten sich so verhalten, dass die summarische Bonitätsproportion der Tunnelluft zu Göschenen und zu Airolo annähernd

$$127{\cdot}7 \times (0{\cdot}9479 - 0{\cdot}0015) : 74.8 \times (1{\cdot}4089 - 0{\cdot}0014) = 1.1416 : 1$$

gesetzt werden kann, ist das umgekehrte Verhältniss der mittleren Dunstdrücke an beiden Orten (die Beobachtungen zu Airolo hinter dem Bohrgestelle sind zur Erzielung von Gleichförmigkeit hier ausgeschlossen)

$$27{\cdot}75 : 23{\cdot}55 = 1{\cdot}1783 : 1.$$

Und räumen wir der Lufttrockenheit denselben Einfluss auf das allgemeine Wohlbefinden der Arbeiter ein wie frischer Respirationsluft, so erhalten wir als schliessliches Verhältniss der Luftgüte in beiden Tunnelseiten

$$\text{Göschenen} : \text{Airolo wie } 1{\cdot}1416 \times 1{\cdot}1783 : 1 \times 1 = 1{\cdot}345 : 1$$

Die meisten Gotthardtunnelarbeiter sind Piemontesen und andere Italiener, von denen jedoch nur die professionellen Bohrmaschinenarbeiter, Mineure, Maurer u. s. w. ständig bleiben, während die ungleich grössere Zahl der „Manoeuvres“ kommen und gehen; namentlich den Winter bringen sie gerne in ihrer Heimath zu.

Die normale Arbeitszeit von 8 Stunden ist zumal bei den in Prämienaccorden arbeitenden Bohrmaschinen- und Schutterposten weiten Schwankungen unterworfen. Da bei regelmässigem Arbeitsgang sowohl das maschinelle Abbohren der Löcher als das Abschiessen und Beräumen gegenwärtig je nur 2—4 Stunden beansprucht, so verrichtet in der Regel jeder Maschinen- und Schutterposten, ohne auszufahren, je 2 Schichten nacheinander, sei es an 2 verschiedenen Arbeitspunkten des Tunnels, sei es an demselben. In letzterem Falle, welcher gegenwärtig Regel ist, ruhen die Maschinenarbeiter während der Schutterung und nehmen sodann ihre Arbeit wieder auf; und umgekehrt die Schutterer. Die Dauer des Aufenthaltes beträgt daher 12—14 Stunden.

Wenn immer möglich suchen die Leute mit den Zügen ein- und auszufahren: auf der Göschener Seite gegenwärtig (März) bis circa 3600^{m} (bez. 2600^{m}); auf der Airoleser bis 4100^{m} vom Portal. An diesen Punkten lassen die Angestellten meist ihre wärmeren Kleidungsstücke zurück; die Arbeiter aber entkleiden sich gewöhnlich erst nahe den Arbeitsstellen, viele bis auf die Stiefeln. Bei der Rückkehr ist an den erwähnten Haltestellen der Locomotiven meist Zeit genug zum Ausschnaufen, allmählichen Abkühlen, mehr oder weniger gründlichen Umkleiden. Während der Ausfahrt wird aber der rasche Temperaturwechsel (besonders im Winter) doch sehr fühlbar, und ich glaube, dass es der Gesundheit zuträglicher ist die $3—4^{km}$ hinauswärts gemächlich zu Fuss zurückzulegen als in $^{1}/_{4}$—$^{1}/_{2}$ Stunde mit der Locomotive fahrend.

Ueber den Einfluss der Tunnelarbeit auf das allgemeine Befinden habe ich an mir selbst, an Angestellten und an Arbeitern folgende Wahrnehmungen gemacht. Leute, welche seit Beginn des Baues täglich (mit unwesentlichen Unterbrechungen) ihre Tunnelarbeit verrichtet, und sich allmählich an die steigende Temperatur gewöhnt haben, hört man über letztere nur unterhaltungsweise klagen, ungefähr wie Bauern über starke Sommerhitze. Die meisten aber haben ein schwindsüchtiges Aussehen (besonders die Feuerwerker, Schutterer und Maurer) und ihre Lebensdauer dürfte verhältnissmässig kurz sein. Dies gilt jedoch von allen Bergleuten und ist wohl weniger auf Rechnung der hohen Temperatur als auf die der matten Luft, der Sprenggase und des Gesteinstaubes zu setzen. Welche verderbliche Wirkung letzterer auch auf die Bohrmaschinenarbeiter ausübt, die doch in verhältnissmässiger Kühle frische Luft athmen,

geht beispielsweise daraus hervor, dass wohl alle Modaneser Bohrmaschinenarbeiter Lungenleiden erlegen sind, während noch ziemlich viele Bardonnècher im Gotthardtunnel arbeiten. In der Bardonnècheseite des Mont-Cenis-Tunnels stand feuchter Kalkstein an, in der Modaneseite dagegen trockener Sandstein, Quarzit u. d. m., deren reichlicher Staub den Lungen verderblich wurde. Eine ähnliche Beziehung könnte man vielleicht zwischen dem Einfluss der Bohrmaschinenarbeit im trockenen Gneissgranit der Nordseite des Gotthardtunnels ausfindig machen und der gleichzeitigen im nassen Glimmerschiefer der Südseite.

Ich habe öfters bemerkt, dass Tunnelarbeiter, welche im Herbst gelb und mager in ihre Heimath zogen, im Frühling frischer und kräftiger als je zum Gotthard zurückkehrten.

Von den Tunnelärzten ist mir gesagt worden, dass (von körperlichen Verletzungen und einzelnen acuten Krankheitsfällen ganz abgesehen) die Krankheiten der Jahreszeit (Katarrhe, Lungenentzündungen, Diarrhöen, „Fieber“ und dergleichen) die Tunnelarbeiter in viel grösserer Proportion träfen als die Landbevölkerung.

Leute, welche für die gegenwärtige Tunnelarbeit neu engagirt werden, fühlen sich die ersten Tage sehr unwohl, sitzen oder liegen lange schlaff und matt an den Arbeitsstellen, verrichten wenig; — gewöhnen sich aber rascher an die Tunnelarbeit als man meinen sollte, falls sie selbige nicht wieder in den ersten Tagen aufgeben. Ganz ähnlich verhält es sich, wenn man nach wochenlangen Zwischenpausen Tunnelarbeiten wieder aufnimmt; und noch erschöpfender wirken einfache Tunnelbesuche auf Fremde.

Ebenso wie man durch Gewöhnung die unbehagliche Tunnelatmosphäre ertragen lernt, accommodirt man sich auch bei jedem neuen Tunnelbesuch bald wieder der drückenden Schwüle, und zwar um so eher, je häufiger und ununterbrochener man die Besuche wiederholt. Die Erscheinungen, welche der Aufenthalt in der matten, rauchigen, feuchten, warmen Tunnelatmosphäre hervorbringt, sind zwar bei allen Individuen dieselben, aber von verschiedener Intensität; Gewöhnung und ungleiche Empfindlichkeit für äussere Eindrücke lässt auch dem Einen oft kaum auffällig erscheinen, was dem Anderen schon unerträglich vorkommt.

Beengung, Beklommenheit, kurzes rasches Athmen (Schnaufen der Zugthiere), Transpiration des ganzen Körpers, welche alle Kleider brühwarm durchnässt, und weder durch Verdunstung noch Abtrocknen erträglicher wird (die ganz nackt arbeitenden Leute befinden sich am wohlsten); grosses Unbehagen; Mattigkeit; Müdigkeit; Erschlaffung; Benommenheit; gelinde Ohnmachten; Gleichgültigkeit; schwere unelastische

Bewegungen; — sind solche Erscheinungen, welche durch mehrstündigen Aufenthalt in derselben Tunnelatmosphäre eher abnehmen als zunehmen, zum Theil sogar wieder verschwinden. Das aufgedunsene Gesicht röthet sich; man wird zwar nur wenig von Durst geplagt; fühlt sich aber durch einen kühlen Trunk doch erfrischt, und mehr noch durch Waschen der Handgelenke und Schläfen mit kaltem Wasser. In den Ruhepausen strecken sich die Arbeiter auf Planken in Attituden, welche lebhaft an jene der Kaninchen in Rosenthal's Versuchen erinnern.

Die Urinabsonderung vermindert sich auffällig; der Urin ist sehr dunkel gefärbt und trübt sich nach einiger Zeit. Es tritt Verstopfung ein; der Appetit nimmt ab. Eine sonderbare Erscheinung sind noch Hautentzündungen, welche man anfangs den warmen hepatischen Wässern der Südseite zuschrieb, welche aber nur Folge der feuchtwarmen Luft sein können, da sie auch Personen belästigen, welche mit jenen Wässern nicht in Berührung kamen. Prof. du Bois-Reymond sagt: „die Hautentzündungen haben wohl Aehnlichkeit mit den Affectionen beim Gebrauch des Leuker Bades, wo die Leute den ganzen Tag in lauwarmem Wasser zubringen, oder mit denen, welche die Reisenden auf dem Rothen Meere befallen". Diese Entzündungen bestehen darin, dass sich unter der Haut flache, harte, erbsen- bis nussgrosse, juckende Erhöhungen bilden, welche anfangs weiss sind, durch Kratzen aber geröthet, stellenweise wohl auch von der Haut entblösst werden. Sie gleichen Insectenstichen, — verschwinden nach einigen Tagen wieder spurlos, wenn man sie nicht kratzt, sie mit kaltem Wasser wäscht und mit Glycerin bestreicht. Entgegengesetzten Falles, und namentlich wenn die wunden Stellen ständig wieder von den nasswarmen Tunnelkleidern gerieben werden, können sich aus denselben Abscesse, Schorfe u. dergl. entwickeln. An Leuten, welche ihre Arbeit ganz nackt verrichten, sieht man fast nie dergleichen; überhaupt aber nehmen die Hautaffectionen um so mehr ab, je öfter und regelmässiger man den Tunnel besucht.[1]

Als spätere Folgen der Tunnelarbeit zeigen sich Abmagerung, fahle Gesichtsfarbe und, besonders zur Winterzeit, Rheumatismus, hartnäckige Katarrhe, Diarrhöen u. s. f.

---

[1] (Nachträgliche Bemerkung.) Aus späteren Beobachtungen scheint hervorzugehen, dass die Hautentzündungen doch hauptsächlich Folge der warmen hepatischen Wässer, und weniger der feuchtwarmen Tunnelluft sind. Sie stellten sich sofort ein, und zwar auf beiden Tunnelseiten, als zu Airolo zwischen 6393—6414, zu Göschenen zwischen 7146—59, 30° warme Wässer erschrotet wurden, welche so reich an alkalischen Sulfiden waren, dass deren auf Steinen und Röhren sich zerschlagende Tropfen dünne Krusten von Schwefel absetzen. Diese Wässer reagiren alkalisch und machen die Finger schlüpfrig wie dünne Lauge.

Die durch den Tunnelaufenthalt hervorgebrachten Aenderungen der Körperwärme nehmen folgenden allgemeinen Verlauf:

Beim Einfahren mit der Locomotive steigt die Eigenwärme rasch soweit, als dem Temperaturgrad der unterwegs eingeathmeten Luft zukommt, selbst wenn sie vorher unter der normalen war. Beispiele: Nach einem Aufenthalt von 50 Minuten vor dem Tunnelportal zu Airolo bei der Lufttemperatur (T) = 3·6° war am 8. III. 10^h 10^m Vormitt. meine Eigenwärme (t) 35·05° oder 1·39° ($\mathfrak{D}$) unter der, gleicher Tageszeit entsprechenden, normalen (bei $T = 13 \cdot 42°$). Nach der Fahrt bis circa 3800^m, welche bei einer Lufttemperatur von 3·6—27·4 (Mittel 17·4°) incl. Aufenthälten 50 Min. erforderte, war 11^h 10^m : $t = 37 \cdot 71°$; $\mathfrak{D} = 0 \cdot 97°$ über der normalen. Am 12. III. besass ich nach 25 Min. Aufenthalt auf dem Tunnelbauplatz zu Göschenen bei $T = 4 \cdot 33°$ die Eigenwärme $t = 36 \cdot 12°$, d. h. $\mathfrak{D}$ = 0.66 unter der normalen. Die Fahrt bis 2200^m bei $T = 4 \cdot 33$ à 19·44 (Mittel 14·64°) erforderte 10 Min.; nach derselben war 12^h 12^m : $t = 37 \cdot 5°$; $\mathfrak{D} = + 0 \cdot 45°$. Am 14. III. fuhr ich 9^h 5^m Vormitt. ein. Vor dem Portal war $T = - 1 \cdot 2°$; $t = 36 \cdot 11°$; $\mathfrak{D} = - 0 \cdot 26°$. Bei $T = -$ 1·17 à 2·67 (Mittel 13·77°) wurde in 17 Min. der Weg bis 2490^m zurückgelegt, wo 9^h 33^{mm} : $t = 36 \cdot 25°$; $\mathfrak{D} = - 0 \cdot 13°$.

Aus diesen Beispielen folgt, dass im Mittel per Minute eine Erhöhung der Eigenwärme von 0·047° eintritt, wenn die Temperatur der umgebenden Luft gleichzeitig um 0·79° steigt. Bei den weiter unten in Rechnung gezogenen Beobachtungen ist aber $\mathfrak{D}$ höchstens = 2·03°, die Erhöhung (Δ) der Lufttemperatur wenigstens = 5·27°. Wir dürfen also annehmen, dass eine Exposition von $\frac{2 \cdot 03 \times 0 \cdot 79}{0 \cdot 047 \times 5 \cdot 27}$ = 6—7 Minuten ausreicht, um für die nachfolgenden Berechnungen brauchbare Daten zu ergeben.

Beim ruhigen Verweilen in warmer Tunnelluft erhält sich in der ersten Hälfte der 8stündigen Arbeitsschicht die dem resp. Temperaturgrad zukommende Körperwärme; später tritt eine Abnahme ein, welche ich jedoch nicht näher untersucht habe, da es mir zunächst nur darauf ankam, die Relation zwischen Temperatur der Umgebung und der entsprechenden Maximalkörperwärme festzustellen. Durch Verrichtung mechanischer Arbeit in der warmen Tunnelluft tritt eine fernere, mit der Anstrengung[1] wachsende Erhöhung der Eigenwärme ein, welcher aber bei eintretender Ruhe sofortige Abkühlung folgt. Letztere vermindert die Körperwärme oft bedeutend unter jenen Grad, welcher dem ruhigen

[1] Ueber „Anstrengung“, welche im Folgenden immer mit η bezeichnet ist, weiter unten.

Aufenthalt in gleichwarmer Tunnelluft zukommt. Folgende Beobachtungen haben zu diesen Sätzen geführt:

6. III. Airolo; $1^h 7^m$ Nachmitt. nach 5stündigen Aufnahmen im Tunnel; $T = 30 \cdot 56^0$; $t = 38 \cdot 11^0$; $\mathfrak{D} = + 1 \cdot 05^0$. Für $\eta = 0$ sollte aber $\mathfrak{D} = 1 \cdot 36^0$ sein;[1] daher relative Abkühlung $1 \cdot 36 - 1 \cdot 05 = 0 \cdot 31^0$.

8. III. Airolo; $1^h 5^m$; nach $2^1/_2$stündigem Aufenthalt im Tunnel und Zurücklegen von circa 2200^m mit der Anstrengung $\eta = 0 \cdot 83$, vor Ort beim Maschinenbohren ausgeruht. $T = 27 \cdot 5^0$; $t = 37 \cdot 67^0$; $\mathfrak{D} = + 0 \cdot 82^0$; sollte sein 1.09^0. Relative Abkühlung $1 \cdot 09 - 0 \cdot 82 = 0 \cdot 27^0$.

13. III. Göschenen; $12^h 0^m$; nach 3stündiger Arbeit im Tunnel Schutterarbeit vor Ort beobachtet. $T = 28 \cdot 45^0$; $t = 37 \cdot 11^0$; $\mathfrak{D} = 0 \cdot 02^0$, hätte sein sollen $0 \cdot 77^0$. Relative Abkühlung durch die Ruhe $0 \cdot 77 - 0 \cdot 02 = 0 \cdot 75^0$. Als ich sodann in gleichwarmer Luft 136^m gegangen war, hatte sich die Eigenwärme wiederum $0 \cdot 39^0$ erhöht. — Nach Verrichtung meiner Arbeit $3^h 28^m$ v. O. beim Maschinenbohren geruht: $T = 26 \cdot 11^0$; $t = 37 \cdot 16^0$; $\mathfrak{D} = + 0 \cdot 72$, hätte $0 \cdot 81$ sein sollen; daher relative Abkühlung $0 \cdot 81 - 0 \cdot 72 = 0 \cdot 09^0$.

14. III. Göschenen; $12^h 15^m$; nach 3stündigem Aufenthalt im Tunnel beim Maschinenbohren v. O. geruht. $T = 24 \cdot 39^0$; $t = 37 \cdot 40^0$; $\mathfrak{D} = + 0 \cdot 36^0$, hätte $0 \cdot 53^0$ betragen sollen. Relative Abkühlung durch Ruhe $0 \cdot 53 - 0 \cdot 36 = 0 \cdot 17^0$.

$4^h 34^m$; nach $7^1/_3$stündigem Aufenthalt im Tunnel; $\eta = 0 \cdot 92$; $T = 28 \cdot 0^0$; $t = 37 \cdot 22^0$; $\mathfrak{D} = + 0 \cdot 54$, hätte sein sollen $0 \cdot 80^0$. Relative Abkühlung $0 \cdot 80 - 0 \cdot 54 = 26^0$.

$5^h 8^m$; nach fast 8stündigem Tunnelaufenthalt circa 1300^m mit Anstrengung $\eta = 0 \cdot 95$ zurückgelegt; $T = 25 \cdot 10^0$; $t = 37 \cdot 66^0$; $\mathfrak{D} = 0 \cdot 63^0$, sollte sein $1 \cdot 10^0$. Relative Abkühlung: $1 \cdot 10 - 0 \cdot 63 = 0 \cdot 47^0$.

$5^h 26^m$; nach $8^2/_3$stündigem Tunnelaufenthalt circa 1950^m mit $\eta = 0 \cdot 87$ gegangen; $T = 25 \cdot 10^0$; $t = 37 \cdot 50^0$; $\mathfrak{D} = + 0 \cdot 41^0$, hätte $0 \cdot 84$ sein sollen. Relative Abkühlung $0 \cdot 84 - 0 \cdot 41 = 0 \cdot 43^0$.

$6^h 44^m$; nach $9^1/_2$stündigem Tunnelaufenthalt bei 3520^m Locomotive abgewartet; $\eta = 0$; $T = 22 \cdot 78^0$; $t = 36 \cdot 97^0$; $\mathfrak{D} = + 0 \cdot 1^0$, hätte $0 \cdot 36$ sein sollen. Relative Abkühlung: $0 \cdot 36^0 - 0 \cdot 1 = 0 \cdot 26^0$.

Schutterer, welche 21. II. nach 7stündigem Aufenthalt im Tunnel zu Göschenen bei $28 \cdot 4^0$ ruhten, hatten $t = 37 \cdot 0^0$; $37 \cdot 3^0$; $37 \cdot 7^0$. Ein Mechaniker, welcher 22. II. bei $27 \cdot 9^0$ ruhte, besass $t = 36 \cdot 8^0$; ebensoviel ein ruhender Fäustelbohrer bei $T = 24 \cdot 6^0$; — diese Zahlen deuten gleichfalls auf Abkühlung nach angestrengter Arbeit, deren Grösse aber nicht in Ziffern ausgedrückt werden kann.

---

[1] Die Formeln siehe weiter unten.

Nach den vorgehenden Sätzen sind für unsere Berechnungen nur Beobachtungen aus den ersten 3—4 Stunden des Tunnelaufenthaltes verwendbar. Diese Beobachtungen müssen womöglich während der Verrichtung der mechanischen Arbeit, oder doch unmittelbar nach derselben angestellt werden. Es scheint dagegen unnöthig, die Zeitdauer des Aufenthaltes oder der Anstrengung in der erhöhten Temperatur als Variable mit in Rechnung zu führen, sofern man nur 10—15 Minuten (anstatt der oben berechneten 6—7) vor dem Beginn einer neuen Beobachtungsreihe unter neuen Verhältnissen hat verstreichen lassen.

Von überwiegend physiologischem Interesse ist das von Hrn. du Bois-Reymond erwartete Sinken der Eigenwärme unter die normale nach dem Verlassen des Tunnels. Hierfür folgende Belege:

6. III. Airolo; $3^h\ 13^m$ nach 7stündigem Aufenthalt im Tunnel, während welchen meine Körperwärme auf $1{\cdot}91^0$ über die normale gestiegen war, am Portal angelangt; mit $t = 36{\cdot}67^0$; $\mathfrak{D} = +\ 0{\cdot}27^0$. Während der Ausfahrt war in 51 Min. T von $30{\cdot}4$ auf $7{\cdot}8^0$ gefallen (Mittelwerth $19{\cdot}6^0$). Nach dem Zurücklegen von circa 600^m zu meiner Wohnung, bei $T = 7{\cdot}8^0$, war $3^h\ 30^m : t = 33{\cdot}33^0$; $\mathfrak{D} = -\ 3{\cdot}11^0$. Nach Waschen, Umkleiden etc. bei $18{\cdot}44^0$; $4^h\ 56^m : t = 34{\cdot}33^0$; $\mathfrak{D} = -\ 2{\cdot}43^0$. Nach Mittagessen u. s. w. bei $17{\cdot}83^0$; $5^h\ 40^m : t = 36{\cdot}94^0$; $\mathfrak{D} = -0{\cdot}06^0$.

8. III. Airolo; $5^h\ 53^m$ Tunnel verlassen nach $7^1/_2$stündigem Aufenthalt, während welchen $\mathfrak{D}$ auf $2{\cdot}03^0$ gestiegen war. In 53 Min. ausgefahren, bei $T = 28{\cdot}9$ à $0{\cdot}0^0$ (Mittelwerth $17{\cdot}78^0$); vor Portal $t = 34{\cdot}72^0$; $\mathfrak{D} = -\ 2{\cdot}28^0$. Bei $0{\cdot}0^0$ nach Hause gegangen, wo $6^h\ 12^m : t = 34{\cdot}44^0$; $\mathfrak{D} = -\ 2{\cdot}60^0$. Nach dem Waschen, Kleiden u. s. w. bei $17{\cdot}73^0$; $6^h\ 53^m$: $t = 35{\cdot}28^0$; $\mathfrak{D} = -\ 1{\cdot}80^0$. Nach dem Essen u. s w. bei $19{\cdot}39^0$; $7^h\ 40^m$: $t = 36{\cdot}39^0$, $\mathfrak{D} = -\ 0{\cdot}33^0$. Nach Lecture bis $9^h\ 25^m$ bei $T = 18{\cdot}67$ $t = 36{\cdot}67^0$; $\mathfrak{D} = -\ 0{\cdot}01^0$.

12. III. Göschenen; $7^h\ 15^m$ Tunnel nach 8stündigem Aufenthalt verlassen, während welchem $\mathfrak{D}$ $1{\cdot}36^0$ erreicht hatte. In 48 Minuten bei $23{\cdot}79$ à $14{\cdot}44^0$ (Mittel $18{\cdot}58^0$) ausgefahren; vor Portal $t = 36{\cdot}61^0$; $\mathfrak{D} = -\ 0{\cdot}15^0$. Nach Waschen, Abendessen, Schreiben bei $17{\cdot}05^0$; $10^h\ 10^m$; $t = 36{\cdot}67^0$; $\mathfrak{D} = +\ 0{\cdot}09^0$.

13. III. Göschenen; $5^h\ 36^m$ aus Tunnel nach 8stündigem Aufenthalt. Ueberhitzung $1{\cdot}24^0$. Ausfahrt in 43 Min. bei $24{\cdot}11$ à $-0{\cdot}83^0$ (Mittel $15{\cdot}26^0$). Vor Portal $t = 36{\cdot}39^0$; $\mathfrak{D} = -\ 0{\cdot}57^0$. Bei $11{\cdot}39^0$ gewaschen, angekleidet u. s. w.; $6^h\ 30^m : t\ 36{\cdot}11^0$; $\mathfrak{D} = -\ 0{\cdot}84^0$. Nach Essen u. s. w. $9^h\ 55^m$; bei $15{\cdot}17^0$; $t = 36{\cdot}72^0$; $\mathfrak{D} = +\ 0{\cdot}12^0$.

14. III. Göschenen. Nach $9^1/_2$stündigem Tunnelaufenthalt bei 3520^m Locomotive abgewartet. Die Eigenwärme hatte an diesem Tag um $1{\cdot}15^0$ meine normale überstiegen. $6^h\ 44^m$ bei $17{\cdot}11^0 : t = 36{\cdot}97^0$;

$\mathfrak{D} = +0{\cdot}1^0$. In 37 Min. ausgefahren, bei $22{\cdot}78$ à $-1{\cdot}94^0$ (Mittel $15{\cdot}96^0$). Vor Portal; $7^h\,45^m$; $t = 35{\cdot}41^0$; $\mathfrak{D} = -1{\cdot}30^0$. Abends $10^h\,20^m$ bei $15{\cdot}28^0$: $t = 35{\cdot}94^0$; $\mathfrak{D} = -0{\cdot}63^0$.

Diese Beobachtungen scheinen mir darauf hinzuweisen, dass Stärke und Dauer der Abkühlung ebensowohl von der vorhergegangenen Anstrengung als von der hohen Temperatur abhängen.

Während der Kälteperiode fühlt man sich nicht unwohl, aber müde; verspürt starken Durst, schwachen Appetit; der Puls wird ganz matt, oft kaum fühlbar, während seine Frequenz bald über, bald unter der normalen ist.

Um die Beziehungen zwischen Temperatur der umgebenden Luft und der Anstrengung, womit man in derselben arbeitet, einerseits, der gleichzeitigen Erhöhung der Eigenwärme andererseits zu ermitteln, begann ich zuerst an Tunnelarbeitern Temperatur-Beobachtungen, welche wohl über Einzelheiten Aufschluss gaben, aber für die Berechnung unbrauchbar waren. Abgesehen von Störungen in der Arbeit und anderen praktischen Schwierigkeiten, gab das Einschieben des Thermometers unter die Zunge der Arbeiter unsichere Resultate, weil die Kugel bald mehr bald weniger bedeckt, der Mund auch nicht immer ganz geschlossen wurde. Ferner stellte sich bald heraus, dass zur richtigen Beurtheilung der Erscheinungen nöthig sei, dasselbe Individuum fast ununterbrochen tagelang zu beobachten, sowohl im Tunnel als aussen.

Ich begann deshalb Ende Februar Temperaturbeobachtungen an mir selbst, und setzte sie durch den ganzen März fort, sowohl zu Airolo als zu Göschenen. Leider wurde mir das Verfahren von Helmholtz, die innere Wärme durch Temperaturmessungen des Urins zu bestimmen, erst bekannt, als meine meisten Beobachtungen schon gemacht waren. Um die directe Vergleichbarkeit derselben nicht zu erschweren, schien es mir deshalb am räthlichsten, den einmal eingeschlagenen Weg weiter zu verfolgen. Stets wurde die Temperatur unter der Zunge bei geschlossenem Mund gemessen. Anfangs diente dazu ein sehr empfindliches in $^1/_5{}^0$ getheiltes physiologisches Thermometer, welches mittels eines kleinen Handspiegels abgelesen wurde, ohne aus dem Mund gezogen zu werden. Später benutzte ich genau calibrirte, zu Kew verglichene, englische Thermometer ($^1/_2{}^0$ F.), welche wegen grosser Gefässe so träge waren, dass man sie anstandlos aus dem Mund nehmen und ablesen konnte. Um die langen Beobachtungszeiten abzukürzen, wurden diese Thermometer vor jedem Versuch ein wenig über den voraussichtlichen Temperaturgrad erwärmt, dann unter die Zunge gelegt, bis kein

Sinken mehr wahrnehmbar war. Darauf wurden sie ein wenig abgekühlt und wieder unter die Zunge gebracht, bis kein Steigen mehr stattfand. Die so ermittelten zwei Temperaturzahlen wichen gewöhnlich gar nicht oder nur ganz unbedeutend von einander ab; ihr Mittelwerth kam in Rechnung.

Zur Ermittelung der Lufttemperatur dienten gleichfalls genaue englische Thermometer, frei aufgehängt. Damit dieselben möglichst wenig von den ständigen kleinen Temperaturschwankungen afficirt werden, sind sie in dickwandigen Glasröhren eingeschmolzen und ihre Gefässe sind mit etwa $^1/_2{}^{cm}$ dicken Spermacetihüllen umgeben. Die Temperaturbeobachtungen mittels derselben erfordern viel Zeit, geben aber exacte Mittelwerthe.

In vielen Fällen war es nöthig, die mittleren Lufttemperaturen in Tunnelstrecken zu ermitteln, welche mit einer gewissen Geschwindigkeit durchfahren oder durchgangen wurden. Ich habe dann immer die Lufttemperatur T' und T'' an beiden Endpunkten der Strecke beobachtet, zugleich aber auch die Temperatur T''', welche ein freigetragenes (sehr träges) Thermometer am Ende des zurückgelegten Weges zeigte, und die Mitteltemperatur der Strecke $= \frac{T' + T'' + 2\,T'''}{4}$ angenommen. Ein etwaiger Fehler dieser Mittelzahl wird dadurch eliminirt, dass man die Beobachtungen auf derselben Strecke in entgegengesetzter Richtung wiederholt. Ganz ähnlich verhält es sich mit den Beobachtungen der Eigenwärme, welche nach Zurücklegen eines gewissen Weges angestellt wurden. Die Körperwärme, mit welcher man anlangt, war (vom Einfluss der Anstrengung abgesehen) offenbar nicht nur von der mittleren Lufttemperatur der durchwanderten Strecke bedingt, sondern wesentlich auch von der Temperatur der zuletzt eingeathmeten Luft. Da sie aber als Function der mittleren Lufttemperatur ausgedrückt werden soll, so muss man denselben Versuch auf derselben Strecke zweimal vornehmen: einwärts und auswärts, und beide Resultate in Rechnung führen.

Um eine richtige Vergleichsbasis zu erhalten, habe ich wochenlang zu verschiedenen Tageszeiten meine Eigenwärme im Bureau, Wohnzimmer und Schlafzimmer beobachtet und durch Interpolation aus den zuverlässigsten 44 Beobachtungen folgende Tabelle I über den täglichen Gang meiner normalen Eigenwärme im März entworfen.

Von den vielen disponiblen Beobachtungen mussten hier alle ausgeschlossen werden, welche in den ersten 3—5 Stunden nach Tunnel-

besuchen angestellt waren. Ferner alle, welche bald nach dem Einnehmen heisser Speisen oder Getränke stattfanden; endlich alle während, oder kurz nach, Spaziergängen oder Reisen über den Gotthard in kalter Luft ausgeführten.

Ich glaube, dass bei Temperaturmessung des Urins viele Einflüsse, welche die Temperatur im Mund rasch ändern, völlig unbemerkbar geblieben wären. Wie rasch übrigens auch unter der Zunge die durch Einathmen kalter Luft u. d. m. gestörte normale Temperatur wieder hergestellt wird, erhält aus folgenden Beispielen.

Am 10. III. $5^1/_2$ bis $8^1/_3$ früh fuhr ich bei $T = -5^0$ von Airolo nach dem Gotthardhospiz, wo $t = 34{\cdot}17^0$; $\mathfrak{D} = -2{\cdot}18^0$. Nach 10 Minuten Aufenthalt in einem schwach geheizten Zimmer war $t = 36{\cdot}22^0$; $\mathfrak{D} = -0{\cdot}14^0$. Um $10^1/_3{}^h$ in Göschenen bei 0^0 angekommen, fand ich $t = 35{\cdot}94^0$; $\mathfrak{D} = -0{\cdot}54^0$; nach dem Essen u. s. w. um $1^2/_3{}^h$ bei $T = 12{\cdot}6^0$; $t = 37{\cdot}06^0$; $\mathfrak{D} = +0{\cdot}35^0$. Am 23. II. besass mein Schreiber auf der Reise über den Gotthard zu Hospenthal bei $T = -3{\cdot}0^0$; $t = 37{\cdot}0^0$; nach $1^1/_2$ stündiger Schlittenfahrt war auf der Gotthardhöhe bei $T = -3{\cdot}2^0$; t anfangs $= 36{\cdot}0^0$; stieg aber, als die Lippen um das Thermometer fest geschlossen wurden, nach wenigen Minuten auf $36{\cdot}9^0$.

Tabelle I. Gang meiner normalen Eigenwärme; März 1879.

Tagesstunde.	Temperatur der umgebenden Luft = T^0.	Eigenwärme unter der Zunge = t^0.	Pulszahl pro Min. = P^0.	Tagesstunde.	Temperatur der umgebenden Luft = T^0.	Eigenwärme unter der Zunge = t^0.	Pulszahl pro Min. = P^0.
Mitternacht.				Mittags.			
12	15·15	36·47	86	12	16·39	37·09	74
1	14·40	36·41	80	1	15·28	36·87	87
2	13·27	36·41	84	2	14·34	36·63	90
3	13·18	36·46	88	3	13·41	36·35	86
4	12·98	36·51	91	4	13·69	36·54	87
5	12·76	36·42	92	5	14·08	36·78	88
Früh.				Nachmittags.			
6	12·64	36·38	85	6	15·34	37·11	87
7	12·99	36·43	82	7	17·77	36·78	91
8	14·35	36·34	82	8	17·81	36·69	95
9	13·84	36·37	91	9	16·75	36·75	95
10	13·33	36·39	100	10	16·49	36·59	97
11	13·88	36·67	86	11	15·72	36·54	94
				Mittelwerth pro 24 Stunden	14·58	36·58	88·2

Vorstehende Ziffernreihe für t^0 hätte sich leicht durch eine Sinuscurve ausdrücken lassen; doch habe ich dies vermieden, weil nicht abzusehen war, ob die Abweichungen vom regelmässigen Gang der Eigenwärme während des Tages nur zufällige sind oder periodisch wiederkehrende. Es treten Minima um 6 Uhr Morgens ein, Maxima um 12 und 6 Uhr Nachmitt.; zwischen letztere beide aber fällt wieder ein Minimum um 3 Uhr Nachmitt., auf welches alle Beobachtungen so regelmässig hinweisen, dass es nicht zufällig scheint. Das ist um so auffallender, als sonst nach eingenommener Mahlzeit von den Physiologen ganz allgemein eine Erhöhung der Eigenwärme constatirt worden ist. Wie dem auch sei, den folgenden Berechnungen habe ich obige Ziffern (bez. die aus denselben durch Interpolation für Zwischenzeiten ermittelten) immer direct zu Grunde gelegt.

Nimmt man $37 \cdot 5^0$ als mittlere normale Wärme des ganzen Körpers an, so ist die unter der Zunge gemessene Temperatur $37 \cdot 5 - 36 \cdot 58 = 0 \cdot 92^0$ niedriger. Wir müssen hier Parallelgang zwischen der inneren Körperwärme und der Mundwärme voraussetzen, obwohl Rosenthal gezeigt hat, dass eine solche Voraussetzung nicht in allen Fällen stichhaltig ist.

Die Beobachtungen im Tunnel bezweckten auch festzustellen, in welcher Beziehung Zunahme der Eigenwärme und körperliche Anstrengung zu einander stehen.

Unter Anstrengung (η) verstehe ich hier die Proportion zwischen gewissen der in einer Zeit geleisteten mechanischen Arbeit zu jenem mittleren, normalen gleichzeitigen Arbeitsquantum, welches der körperlichen Constitution entspricht.

Meinem Gewicht (März 1879; in leichtem Tunnelgewand) von 67^{kgr} entspricht eine normale Arbeitsfähigkeit von 302806^{kgrm} pr. 8 Stunden oder $630 \cdot 84^{\text{kgrm}}$ pr. Minute.

Die verrichtete Arbeit wurde nach der in einer gewissen Zeit gehend zurückgelegten Wegstrecke berechnet. Da meine Beinlänge $1 \cdot 015^{\text{m}}$, meine mittlere Schrittlänge (im Tunnel) $0 \cdot 739^{\text{m}}$, so ist die pr. Schritt verrichtete Arbeit theoretisch: $\frac{67 \times 0 \cdot 739^2}{8 \times 1 \cdot 015} = 4 \cdot 51^{\text{kgrm}}$[1]; die pr. laufenden Meter Weg verrichtete: $6 \cdot 1^{\text{kgrm}}$. Beim Gehen auf glattem ebenem

[1] (Nachträgliche Bemerkung.) Nennt man l die Bein-, p die Schrittlänge, α den Winkel an der Spitze des durch die Beine und die Schrittlänge ge-

Weg wäre hierzu für Ueberwindung von Reibungen etwa $0 \cdot 02 \times 67 = 1 \cdot 34^{\text{kgrm}}$ pr. Laufmeter zu legen. Im Tunnel sind auf dem kothigen, wasserüberflutheten, holperigen Weg aber so viele kleine Hindernisse zu übersteigen, dass wir anstatt des Widerstands-Coëfficienten 0·02 einen wenigstens 3·8mal grösseren annehmen müssen, da sich beim Transport auf horizontalen Strassen die Widerstände wie 1:3·8 verhalten, je nachdem die Strassen gut gehalten und glatt, oder zerfahren kothig und holperig sind.

Unter dieser Voraussetzung steigt die durch Zurücklegen von 1^{m} (horizontal) im Tunnel verrichtete mittlere mechanische Arbeit auf $6 \cdot 1 + 5 \cdot 06 = 11 \cdot 16^{\text{kgrm}}$.

Beim gleichzeitigen Ueberwinden von Steigungen kommt hierzu 67^{kgrm} für jeden vertical gestiegenen Meter. Beim Herabsteigen von Rampen u. d. m. habe ich dagegen keinen besonderen Arbeitsaufwand (oder Arbeitsgewinn) für die vertical zurückgelegten Wege in Rechnung gebracht.

Die Anstrengung η ist nun für jeden Fall leicht zu ermitteln. Beim Zurücklegen von 1805^{m} mit einer Steigung von 16^{m}, in 27 Minuten, wird z. B. die Arbeit $\frac{1805 \times 11 \cdot 16 + 16 \times 67}{27} = 785 \cdot 6^{\text{kgrm}}$ pr. Minute verrichtet; und die Anstrengung, womit man gearbeitet hat ist

$$\eta = \frac{785 \cdot 6}{630 \cdot 8} = 1 \cdot 24.$$

Setzen wir voraus, dass die Erhöhung $\mathfrak{D}$ der Körperwärme über die normale gleichzeitig und in gerader Proportion steigt 1. mit der Differenz Δ zwischen der jeweiligen Lufttemperatur T und jener Lufttemperatur T^0, bei welcher die normale Körperwärme ermittelt wurde, 2. mit der Anstrengung η, so können wir setzen $\mathfrak{D} = \alpha\, \Delta + \beta\, \eta$.

Der Annahme, dass $\mathfrak{D}$ in gerader Proportion mit Δ wachse, stehen

bildeten gleichschenkligen Dreiecks, so liegt obiger Formel die Annahme zu Grunde, dass bei jedem Schritt der Körperschwerpunkt um $h = \sin vers \frac{\alpha}{2} = 0 \cdot 067^{\text{m}}$ gehoben werde. Prof. Ch. de Cuyper schreibt mir indessen, dass die erfahrungsmässige Hebung nur 0·02 beträgt. Wollten wir in den folgenden Rechnungen letztere Zahl anstatt der theoretischen ($0 \cdot 067^{\text{m}}$) einführen, so würden sich die Formeln auf S. 104 wesentlich ändern, und zwar in dem Sinn, dass die Vermehrung der Körperwärme durch die Anstrengung grösser, die Vermehrung derselben durch äussere Wärme aber kleiner ausfiele, als die Formeln ausdrücken.

allerdings die Beobachtungen Rosenthal's[1] entgegen, nach welchen die Zunahme der Körperwärme von Kaninchen durch eine asymptotische Curve ausdrückbar scheint, deren Abscissen $\varDelta$, Ordinaten $\mathfrak{T}$ wären.

Es ist leicht zu ermessen, von wie grossem praktischem Gewicht es wäre, die Form dieser Curve für Menschen zu kennen; meine unten verzeichneten Beobachtungen bewegen sich aber innerhalb zu enger Grenzen, als dass ich wagen möchte, mit Zugrundelegung derselben die Gleichung fraglicher Curve abzuleiten. Deshalb blieb ich bei der Geraden stehen; mache aber ausdrücklich darauf aufmerksam, dass wahrscheinlichst bei noch höheren Lufttemperaturen als den hier in Rechnung gezogenen die Zunahme der Körperwärme viel rapider ist, als die unten ermittelten Relationen ausdrücken.

Zu der nachfolgenden Tabelle II ist anzumerken, dass zu Airolo zwar viel mehr Beobachtungen angestellt wurden, als zu Göschenen. Die meisten derselben aber dienten einen *Modus operandi* ausfindig zu machen, und den in meinem früheren Abschnitt erörterten allgemeinen Verlauf der Erscheinungen festzustellen; deshalb blieben davon nur wenige für Einführung in die Rechnung geeignet, und auch diese wenigen sind nicht so exact, wie die später angestellten Göschener Beobachtungen.

Die Beobachtungen der Eigenwärme (Spalte 13) erfolgten am Ende der in Spalte 1 verzeichneten Zeiten; die durch Interpolation aus Tab. I ermittelten Werthe der Spalten 2, 3, 4 beziehen sich auf dieselben Zeitpunkte. Die Ziffern der Spalte 17 drücken die Proportion aus zwischen der Anzahl Pulsschläge bei der erhöhten Temperatur (nach Spalte 14) und bei gewöhnlicher (Spalte 4). Da die Anstrengungsquoten (Spalte 11) bei meiner Arbeit (geologische Aufnahmen im Tunnel) nicht direct ermittelt werden konnten, so habe ich dieselben gleich dem Mittel aller übrigen bez. Quoten beim Gehen und Ausruhen derselben Spalte angenommen.

Aus nachstehenden 16 zusammen gehörigen Beobachtungsdaten von Göschenen für $\mathfrak{D}$ (Spalte 16), $\varDelta$ (Spalte 15), η (Spalte 11) folgt nach der kleinsten Quadratmethode:

$$\mathfrak{D} = 0{\cdot}0642\,\varDelta + 0{\cdot}2497\,\eta.$$

---

[1] Nach Rosenthal zeigen nämlich freie Kaninchen bei einer Lufttemperatur von 11—32° keine erhebliche Aenderung ihrer Eigenwärme (geringe vorübergehende Aenderungen treten jedoch bei 26 — 32° ein). Bei 32 — 36° steigt die Eigenwärme auf 41—42°; dann tritt wieder ein Gleichgewichtszustand ein. Die Thiere können diese Temperatur sehr lange Zeit ertragen, ohne dass ihr Leben gefährdet wäre. „Bei 36—40° steigt die Temperatur der Thiere äusserst schnell auf 44—45°, und bei zu langem Verweilen in diesen hohen Temperaturen tritt äusserst leicht der Tod ein“. Vgl. oben S. 83.

Gotthardtunnel;

Tabelle II. Beobachtungen über die Zunahme der Eigenwärme

	Tageszeit. Stunden und Minuten.		Der Tageszeit entsprechende normale			Aufenthaltsort im Tunnel. Meter vom Portal.	Gehend zurückgelegter Weg. Meter.		
			Lufttemperatur T^0.	Eigenwärme t^0.	Pulszahl P^0.		Horizontal.	Vertical (steigend).	Erforderliche Zeit. Minuten.
		1	2	3	4	5	6	7	8
Göschenen.	XII.	12^h 25^m — 12^h 37^m	15·77	36·95	82	2200—3520	0	0	12
	„	12 48 — 1 15	15·02	36·81	88	3520—5310	1805*	16·0	27
	„	1 23 — 1 42	14·63	36·70	89	5310—6500	1190	6·8	19
	„	1 54 — 3 15	13·48	36·40	86	6460—6623	?	?	81
	„	3 15 — 4 35	13·92	36·68	88	6460—6490	?	?	80
	„	4 40 — 5 0	14·08	36·78	88	6480—5310	1170	0	20
	„	5 10 — 5 41	14·94	37·01	87	5310—3520	1810*	0	31
	XIII.	9 55 — 10 5	13·38	36·41	99	2200—3520	0	0	10
	„	10 19 — 10 48	13·79	36·63	88	3520—5310	1820*	16·0	29
	„	11 0 — 11 22½	14·78	36·82	82	5310—6626	1356*	7·6	22·5
	„	12 15 — 2 46½	13·60	36·41	87	6490—6540	?	?	153·5
	„	3 36 — 3 58½	13·68	36·54	87	6626—5310	1321*	0	22·5
	„	4 9 — 4 44	13·97	36·72	88	5310—3520	1800*	0	35
	XIV.	9 49 — 10 7½	13·40	36·43	98	2490—3520	1080*	6·0	18·5
	„	10 19 — 10 43	13·72	36·59	90	3520—5310	1810*	16·0	24·0
	„	11 3½ — 11 31	15·14	36·88	80	5310—6500	1195*	6·8	27·5
Airolo.	VI.	1 7 — 2 22	14·00	36·53	88·5	5929—3573	2356	0	75
	VIII.	11 32 — 11 50	15·97	37·02	76	3819—4883	1064	5·0	18
	„	12 0 — 12 34	15·76	36·97	81	4883—5948	1110*	0·3	34
	„	12 34 — 1 5	15·20	36·85	87	5985	0	0	31
	„	1 20 — 3 20	13·50	36·41	86	5985—5948	?	?	120
	„	3 20 — 4 10	13·76	36·58	87	5948—3819	2129	0	50
	„	4 10 — 5 0	14·08	36·78	88	3819	0	0	50

März 1879.

(b)ei zunehmender Lufttemperatur und körperlicher Anstrengung.

Verrichtete (m)echan. Arbeit. Kgrmtr.		Anstrengung η.	Im Tunnel beobachtete			Differenz zwischen normaler u. beobachteter		Proportion zwischen den Pulszahlen $\frac{P}{P0} = p$.	Anmerkungen.
Im Ganzen.	Pro Minute.		Mittlere Temperatur T.	Eigenwärme t.	Pulszahl P.	Lufttemperatur $T - T^0 = \Delta$.	Eigenwärme $t - t^0 = \vartheta$.		
9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
0	0	0	21·04	37·50	89	5·27	0·55	1·08	Mit Locomotive eingefahren.
21210	785·56	1·245	25·68	37·78	120	10·66	0·97	1·36	* Incl. 15^{m} Umwegen.
13726	722·42	1·145	28·33	38·06	112	13·70	1·36	1·26	
?	?	0·924	28·90	37·61	100	15·42	1·21	1·16	Gearbeitet; η Mittelzahl der Uebrigen.
?	?	0·924	28·89	37·78	120	14·97	1·10	1·36	do.
13054	652·70	1·035	28·12	37·78	106	14·04	1·00	1·20	
20194	651·42	1·033	25·41	37·94	120	10·47	0·93	1·38	* Incl. 20^{m} Umwegen.
0	0	0	20·79	37·11	88	7·41	0·70	0·89	Mit Locomotive eingefahren.
21378	737·17	1·169	25·62	37·56	118	11·83	0·93	1·34	* Incl. 30^{m} Umwegen.
15638	695·02	1·102	27·87	37·78	134	13·09	0·96	1·63	* Incl. 40^{m} Umwegen.
?	?	0·924	28·38	37·56	114	14·78	1·15	1·31	Gearbeitet; η Mittelwerth d. Uebrigen.
14738	655·02	1·038	27·01	37·78	104	13·33	1·24	1·19	* Incl. 5^{m} Umwegen.
20083	573·8	0·909	25·32	37·64	108	11·35	0·92	1·23	* Incl. 10^{m} Umwegen.
13194**	713·20	1·131	21·94	37·58	108	8·54	1·15	1·10	* Incl. 50^{m} Umwegen. ** Eine Bürde von 4^{kgr} getragen, daher Gewicht u. Arbeit entsprechend grösser.
21266	886·10	1·405	25·95	37·74	110	12·23	1·15	1·22	* Incl. 20^{m} Umwegen.
13788	501·38	0·795	28·45	37·81	112	13·31	0·93	1·40	* Incl. 5^{m} Umwegen.
26286	350·48	0·555	30·50	38·44	120	16·50	1·91	1·36	
12206	678·11	1·073	28·55	38·05	104	12·58	1·03	1·37	
12404	364·82	0·578	30·07	38·50	124	14·31	1·53	1·53	* Incl. 45^{m} Umwegen.
0	0	0	27·50	37·67	88	12·30	0·82	1·01	Vor Ort beim Bohren geruht.
?	?	0·494	30·40	38·44	112	16·90	2·03	1·30	Gearbeitet; η Mittelwerth d. Uebrigen.
23748	474·96	0·753	30·00	38·05	128	16·24	1·47	1·47	
0	0	0	28·90	37·78	?	14·82	1·00	?	Auf Locomotive gewartet.

Berechnet man hiernach die Werthe für $\mathfrak{D}$ zurück, so ergiebt sich aus den Quadraten der Differenzen zwischen Beobachtung und Berechnung als mittlerer Fehler der nach der Formel berechneten Werthe: $0\cdot15^{0}$.

Bemerkenswerth ist, dass (nach einem früheren Abschnitt) beim Einfahren in den Tunnel einer Zunahme der Lufttemperatur von $0\cdot79$ eine Zunahme der Eigenwärme von $0\cdot047$ entspricht, woraus $\mathfrak{D} = 0\cdot0595\,\varDelta$ folgen würde (für $\eta = 0$). Dies Resultat weicht also von dem vorstehend berechneten nicht mehr ab, als die ungleiche Luftbeschaffenheit in dem fertigen (natürlich ventilirten) Tunnel und dem in Arbeit stehenden sehr wohl erklärlich macht.

Die sieben zusammengehörigen Beobachtungsdaten von Airolo ergeben:

$$\mathfrak{D} = 0\cdot0885\,\varDelta + 0\cdot2295\,\eta$$

mit einem mittleren Fehler des Mittels von $0\cdot34^{0}$.

Es springt sofort in's Auge, dass die durch Anstrengung verursachte Erhöhung der Eigenwärme trotz der verschiedenen Luftbeschaffenheit in der Göschener und Airoleser Tunnelseite fast dieselbe ist.

Da die Gewichte der Göschener und Airoleser Beobachtungen sich verhalten wie $0\cdot34^{2} : 0\cdot15^{2} = 4\cdot88 : 1$, so ergiebt sich als Mittelwerth der Eigenwärmezunahme durch die Anstrengung $\eta = 1$:

$$\frac{0\cdot2497 \times 4\cdot88 + 0\cdot2295 \times 1}{5\cdot88} = 0\cdot2463 \text{ oder rund } {}^{1}/_{4}{}^{0}\ \mathrm{C}.$$

Die nur von der Temperatur und Beschaffenheit der umgebenden Luft abhängige Zunahme der Eigenwärme in der nördlichen und südlichen Tunnelseite verhält sich dagegen wie:

$$\frac{0\cdot0642}{0\cdot0885} = 1 : 0\cdot725.$$

Wie fanden aber in einem früheren Abschnitt als Verhältnisszahl der Luftgüte zu Airolo und Göschenen:

$$\frac{1}{1\cdot345} = : 0\cdot743.$$

Die Uebereinstimmung der vorstehenden beiden Verhältnisszahlen führt zum Schlusssatz:

Die Zunahme der Eigenwärme durch Erhöhung der äusseren Temperatur steht in umgekehrtem Verhältniss zur Güte (incl. Trockenheit) der umgebenden Luft.

Auf eine fernere Beziehung bin ich erst bei Berechnung der bereits abgeschlossenen Beobachtung gestossen. Als Mittelwerth der Anstrengung, mit welcher ich nach Spalte 11 der Tabelle II zu Göschenen in den Tunnel

ging, ergiebt sich 1·142; als mittlere Anstrengung beim Herausgehen 0.972, daher überhaupt Anstrengung, womit ich in der Göschener Tunnelatmosphäre körperlich gearbeitet habe: 1·057.

Dagegen sind für Airolo die bez. Mittelzahlen: Anstrengung beim Eingehen 0·827; beim Ausgehen 0·654; überhaupt: 0·741.

Andererseits sind die Ueberhöhungen der Eigenwärme

zu Göschenen	beim Eingehen im Mittel	1·06°
	beim Ausgehen „ „	1·02°
	überhaupt	1·04°
zu Airolo	beim Eingehen im Mittel	1·49°
	beim Ausgehen „ „	1·68°
	überhaupt	1·59°

Es ist aber 1·057 : 0·741 = 1 : 0·701
und 159 : 1·04 = 1 : 0.654,

d. h. die Anstrengung, womit man gemächlich (und ohne äusseren Zwang) körperlich arbeitet, verhält sich nahezu umgekehrt wie die gleichzeitige Erhöhung der Eigenwärme über die normale.

Die Körperwärme wird hiernach schon dadurch zu einem gewissen Grad regulirt, dass man, falls nicht besondere Ursachen Ueberanstrengung bedingen, sich instinctmässig desto weniger körperlich anstrengt, je mehr die Eigenwärme durch Temperatur und Beschaffenheit der umgebenden Luft an und für sich gesteigert ist. Hiernach wird die Faulheit der Südländer physiologisch begründet.

Die Bedeutung des Satzes bei aller Verwendung thierischer Kräfte in der Technik sollte von keinem Ingenieur übersehen werden; weiter unten kommen wir nochmals hierauf zurück.

Ein Vergleich der Ziffern in Spalte 16, 17 der Tabelle II zeigt sofort, dass die Pulszahl mit zunehmender Eigenwärme steigt. Abweichungen sind theils daraus erklärlich, dass der Blutumlauf noch von ganz anderen Einflüssen regulirt wird, als von jenen, welche auch die Körperwärme reguliren, theils daraus, dass Zunahme der Pulsfrequenz und der Körperwärme nicht immer synchrone Erscheinungen sein dürften, sondern einander voreilende oder nachziehende. Immerhin kann es von pathologischem Interesse sein, wenigstens eine approximative empirische Relation zwischen Eigenwärme und Pulsfrequenz zu ermitteln. Aus den Daten der Spalte 16 und 17 (Tab. II) ergiebt sich ungezwungen als solche:[1]

$$P = P^0 \times 1{\cdot}2209^{\,\mathfrak{T}},$$

[1] Zur Vereinfachung der Zifferrechnung habe ich bei Construction dieser Formel nicht die einzelnen Beobachtungsdaten in Rechnung gezogen, sondern Mittel-

wenn P^0 die der normalen Eigenwärme entsprechende normale Pulszahl; P dagegen die der Differenz $\mathfrak{D}$ zwischen normaler und jeweiliger Eigenwärme zukommende gesuchte Pulszahl bedeutet. Um die Anwendung dieser Formel bequem zu machen, habe ich nach derselben folgende Tabelle construirt:

Tabelle III.

Differenz $\mathfrak{D}$ zwischen jeweiliger und normaler Körperwärme. $\mathfrak{D}$ =	-5^0	-4^0	-3^0	-2^0	-1^0	$\pm 0^0$	$+1^0$	$+2^0$	$+3^0$	$+4^0$	$+5^0$
Coëfficient p, womit die normale Pulszahl zu multipliciren ist, um die bei veränderter Eigenwärme stattfindende zu ermitteln.	0·369	0·450	0·549	0·671	0·819	1·000	1·221	1·491	1·820	2·222	2·713

Die vorstehenden Resultate sind individuell so, dass ich dieselben ohne vorgehende Prüfung nicht als allgemeingültige hinstellen möchte. Behufs dieser Prüfung habe ich gleichzeitig an mir und anderen Individuen, welche an den Aufenthalt in der feuchtwarmen Gotthardttunnelatmosphäre theils noch gar nicht, theils in noch viel grösserem Maass als ich gewöhnt sind, folgende vergleichende Versuche angestellt.

1. Der Eidgenössische Genie-Obrist-Lieutenant Hr. Lochmann, welcher am 21. Juni 1879 zum ersten Mal die Airoloseite des Gotthard-Tunnels betrat, erlaubte mir gütigst folgende Beobachtungen an sich: (Vgl. Tab. IVa, folg. S.)

Aus Spalte 8 vorstehender Tabelle erhellt zunächst, dass die durch gleiche Anstrengung unter gleichen Temperatur- und Luftverhältnissen bei Hrn. Lochmann hervorgebrachten Aenderungen der Eigenwärme im Mittel um 0·08 oder rund $0 \cdot 1^0$ höher sind als bei mir. Diese Differenz liegt zwar noch innerhalb der Grenzen der Beobachtungsfehler, doch

werthe der Gruppen von $\mathfrak{D} = 0 \cdot 5$ à 1^0; 1 à $1 \cdot 5^0$; $1 \cdot 5$ à 2^0. Die dadurch entstandenen Gleichungen sind: $1 \cdot 258 = C^{0 \cdot 857}$; $1 \cdot 268 = C^{1 \cdot 174}$; $1 \cdot 397 = C^{1 \cdot 823}$, deren Lösung nach der kleinsten Quadratmethode $C = 1 \cdot 2209$ ergiebt. Zurückberechnet erhalten wir für p: 1·187, 1·264, 1·439; und aus den Quadraten der Differenzen zwischen diesen und den vorstehenden beobachteten Werthen als mittleren Fehler des Mittels von p: 0·058 oder 4·4 % der in Rechnung geführten mittleren Pulszahlen.

Tabelle IVa.

Beobachtungszeit.	Aufenthaltsort.	Mittlere Lufttemperatur T.	Stapff.		Lochmann.		Differenz zwischen 5 (St.) u. 7 (L.).	Gehend zurückgelegter Weg. Meter.		Zeitdauer. Minuten.	Geleistete mechanische Arbeit.	Anstrengung η.	Anmerkungen.
			Eigenwärme t.	Aenderung der Eigenwärme.	Eigenwärme t.	Aenderung der Eigenwärme.		Horizontal.	Vertical steigend.				
1	*2*	*3*	*4*	*5*	*6*	*7*	*8*	*9*	*10*	*11*	*12*	*13*	*14*
21. Juni.													
$2^h\ 20^m$	Bureau	24·9	37·4		37·0								
	Tunnel-			0·2		0·3	0·1						Circa 800^m^ gegangen.
3 2	bauplatz	21·1	37·6		37·3								
bis	Tunnel			0·0		0·1	0·1						Mit Locomotive eingefahren.
3 31	4100^m	23·9	37·6		37·4			0	0	29	0	0	
				0·3		0·4	0·1						
$3^h\ 39^m$ — $4^h\ 20^m$	5726^m	29·2	37·9		37·8			1626	4·3	41	18434	0·713	Gegangen.
				0·7		0·6	—0·1						
4 29 — 5 1	4100^m	29·8	38·6		38·4			1626	0	32	18146	0·899	Circa 100^m zu Locomotive gegangen.
5 13 — 5 18	bis			—1·0		—0·8	0·2						
5 18 — 5 $37^1/_2$	Portal	23·8	37·6		37·6			0	0	19·5	0	0	Mit Locomotive ausgefahren.
	Im Mittel:		37·78		37·58		0·08						

liesse sich aus derselben schliessen, dass Hrn. Lochmann's Eigenwärme schon in gleichem Maass wie bei mir gesteigert wird, wenn er sich einer um $\frac{0 \cdot 08}{0 \cdot 0885} = 0{,}9^0$ kälteren Tunnelluft aussetzt.

Ausserdem veranlasst diese Versuchsreihe folgende Betrachtungen: Beim Einmarsch von 4100 nach 5726 und zurück war im Mittel: um $\frac{4^h\ 20^m + 5^h\ 1^m}{2} = 4^h\ 40 \cdot 5^m$ die Lufttemperatur $T = \frac{29 \cdot 2 + 29 \cdot 8}{2}$ $= 29 \cdot 5^0$ (also $\varDelta = 29 \cdot 5 - 13 \cdot 95 = 15 \cdot 55$); meine Eigenwärme $t = \frac{37 \cdot 9 + 38 \cdot 6}{2}$ $= 38 \cdot 25^0$; Anstrengung $\eta = \frac{0 \cdot 713 + 0 \cdot 899}{2} = 0 \cdot 806$. Durch Einsetzung dieser Werthe in die Formel $\mathfrak{D} = 0 \cdot 0885\ \varDelta + 0 \cdot 2295\ \eta$ ergiebt sich $\mathfrak{D} = 1 \cdot 56$; daher $t^0 = t - \mathfrak{D} = 38 \cdot 25 - 1 \cdot 56 = 36 \cdot 69^0$.

Es ist aber nach Tab. I meine normale Eigenwärme um $4^h\ 40^m$ NM.: $36 \cdot 70^0$. In der hier gewonnenen Uebereinstimmung zwischen Experiment und Rechnung dürfte eine Garantie für die Richtigkeit aller vorgehenden Beobachtungen und darauf gegründeten Schlusssätze liegen.

Andererseits war für Obrist-Lieutenant Lochmann im Mittel $4^h\ 40^m$:

$$t = \frac{37 \cdot 8 + 38 \cdot 4}{2} = 38 \cdot 1;$$

alles andere wie bei mir; daher auch $\mathfrak{D} = 1 \cdot 56$; und dessen normale Eigenwärme $38 \cdot 1 - 1 \cdot 56 = 36 \cdot 54^0$.

Letztere wäre hiernach $36 \cdot 69 - 36 \cdot 54 = 0 \cdot 15^0$ niedriger als die meinige; während die Mittelzahlen der Spalten 4 und 6 eine bez. Differenz von $37 \cdot 78 - 37 \cdot 58 = 0 \cdot 20$ ergeben. Diese Differenz hat sich als einfacher Fehler der zwei benutzten Thermometer herausgestellt, welche bei 0^0 gleich zeigen, bei 38^0 aber einige Zehntel verschieden.

2. Die Comparativversuche mit einem habituellen Tunnelarbeiter (siehe nachstehende Tab. IVb) haben aus den S. 97 ausgeführten Gründen die grössten Schwierigkeiten veranlasst. Seit Juni habe ich sie zu Göschenen und Airolo an verschiedenen Individuen begonnen, aber immer wieder resultatlos abbrechen müssen. Endlich gelang es am 1. September eine einigermaassen befriedigende Beobachtungsreihe mit dem *Chef de poste des mariniers*, Contratto, durchzuführen. Derselbe, 28 Jahre alt, hat seit 1873 in der Airoloseite des Tunnels gearbeitet, erst als Schutter (*marinier*), seit 1874 als *Chef de poste* in dem Sohlenschlitz und seit October 1878 im Richtstollen. Während dieser Zeit ist er 28 Tage krank gewesen, ausserdem einmal 40 Tage, ein anderes Mal 50 Tage auf Urlaub abwesend. Besondere Versuche mit ihm am 19. August, 30. August, 1. September (vor und nach dem Tunnelbesuch) stellten heraus, dass seine normale (?)

Tabelle IVb.

(Anm. Die in der Erläuterung zu Tab. IVa erwähnten Thermometerdifferenzen sind hier corrigirt.)

Beobachtungs-zeit.	Aufenthalts-ort.	Mittlere Luft-temperatur T^0.	Stapff.		Contratto.		Differenz zwischen 5 (Stapff) u. 7 (Contratto).	Gehend zurückgelegter Weg.		Zeitdauer in Minuten.	Geleistete mechanische Arbeit.	Anstrengung η.	Anmerkungen.
			Eigenwärme t^0.	Aenderung der Eigenwärme.	Eigenwärme t^0.	Aenderung der Eigenwärme.		Horizontal.	Vertical steigend.				
1	*2*	*3*	*4*	*5*	*6*	*7*	*8*	*9*	*10*	*11*	*12*	*13*	*14*
I./IX. 9h 52m	Bureau	19·8	36·55		37·00*								* Vor 9½ Stunden aus dem Tunnel.
„ 10 — — 11 15	Bureau Tunnel-bauplatz*	22·5	37·00		37·10								* Dahin vom Bureau gegangen; auf Abgang des Zuges gewartet.
				0·20		0·05	0·15						
„ 11 20½ — 11 49	0—4200*	23·8	37·20		37·15			0	0	28½	0	0	* Eingefahren; bei 3500 7 Min. Aufenthalt.
				0·35		0·10	0·25						
„ 11 58 — 12 10	4200—5020	29·0	37·55		37·25			820	4·0	12	9419	1·244	Gegangen.
				0·55		0·35	0·20						
„ 12 17 — 12 42	5020—6497	30·4	38·10		37·60			1477	0·7	25	16530	1·048	Gegangen.
				0·00		−0·15	0·15						
„ 1 10	6497*	31·5	38·10		37·45								* C. ausgeruht; S. noch 200 m gegangen, dann auch geruht.
				−0·20		0·00	0·20						
„ 1 18 — 1 59	6497—5020	30·4	37·90		37·45			1477	0	41	16483	0·637	Gegangen.
				−0·25		−0·15	0·10						
„ 2 10 — 2 26	5020—4250	30·4	37·65		37·30			770	0	16	8593	0·851	Gegangen.
				−0·85		−0·70	0·15						
„ 3 30 — 3 0	4100—0	25·7	36·80		36·60			0	0	30	0	0	Bei 4100—4250: 1 St. 4 Min. auf Locomotive gewartet. Beim Ausfahren Aufenthalt bei 3500.
„ 7 —	Wohnung	21·8	36·50		36·95								
	Im Mittel:		37·34		37·19		0·17						

Eigenwärme zu verschiedenen Tageszeiten $37 \cdot 25 - 36 \cdot 64 = 0 \cdot 61^0$ höher war als die gleichzeitige meinige; — ich wage nicht zu sagen, ob etwa als chronische Folge der langen Tunnelarbeit; oder etwa deshalb, weil ich vor den Beobachtungen im kühlen Zimmer gesessen hatte, während Contratto auf dem Weg zu mir meist starker Sonnenhitze ausgesetzt war; oder ob in Folge von Manipulationsfehlern. Allenfalls stellte sich die zwischen 0·8 und 0·45 schwankende Differenz stets ein, und zwar stets in demselben Sinn.

Aus Spalte 8 vorstehender Tab. IVb folgt, dass dieselben Arbeitsleistungen, unter denselben Luft- und Temperaturverhältnissen, die Eigenwärme Contratto's im Mittel um $0 \cdot 17^0$ weniger erhöhten, als die meinige. Möglicherweise trug dazu wesentlich bei, dass derselbe nur mit leichtem Hemd bekleidet ging, während ich Wollenhemd und leichte Tunnelkleider trug. Dies scheint um so glaublicher, als er sich beim Hineinfahren und -gehen nur langsam und wenig erwärmte, beim Hinausfahren aber rasch und sehr merklich abkühlte. Ich enthalte mich jeglichen Urtheils, ob zu der durch diesen Tunnelbesuch hervorgebrachten geringen Erhöhung seiner Eigenwärme nicht noch ein Theil jener 0·61 gelegt werden dürfte, welche nach Obigem bei ihm constant geworden sein könnte. Ueberhaupt betrachte ich mit dieser Versuchsserie die Frage nicht als erledigt und wünschte sehr, dass noch recht viele und umfassende Beobachtungen an Arbeitern zu ihrer Lösung angestellt würden, und zwar durch Bestimmung der Harntemperaturen. Ich kann mich mit Versuchen in dieser Richtung nicht weiter befassen.

Da eine innere Erwärmung von $0{,}17^0$ durch eine Erhöhung der Lufttemperatur von $\frac{0{,}17}{0{,}0885} = 1{,}9^0$ hervorgebracht wird, so deuten die vergleichenden Beobachtungen an Contratto an, dass ein habitueller Tunnelarbeiter eine um (rund) 2^0 höhere Temperatur verträgt, ehe bei ihm dieselben Veränderungen der inneren Wärme zum Vorschein kommen wie bei mir.

Viele angesehene Pathologen sind der Meinung, dass Fiebertemperaturen von $40-41 \cdot 5^0$ nach 2—3 Wochen an und für sich zum Tod durch Gehirn- oder Herzlähmung führen. Solche von 42^0 zeigen meist den bevorstehenden Tod an. Es scheint mir zwar nicht ausgemacht, dass wenn der gesunde Körper durch äussere Einflüsse auf z. B. 42^0 erwärmt wird, in ihm ohne weiteres auch dieselben krankhaften Zustände entstehen, welche den Tod zur Folge haben, und welche unter Anderem durch eine Körperwärme von 42^0 gekennzeichnet sind. Wäre die Ueberhitzung lediglich

Folge übermässiger körperlicher Anstrengung, so liesse sich die Annahme einer derartigen Reciprocität zwischen Ursache, Symptom und Wirkung viel eher rechtfertigen. Immerhin müssen wir hier stillschweigend annehmen, dass wenn durch Fieber hohe Körperwärme und rascher Puls verursacht, andererseits durch hohe Körperwärme auch ein fieberhafter Zustand (und damit zusammenhängender rascher Puls) des Körpers erzeugt wird, welche je nach Intensität früher oder später zum Tode führt. Den wissenschaftlichen Beweis für die Richtigkeit dieser Voraussetzung vermag ich allerdings nicht zu führen; einen empirischen Beweis aber liefert das Sterben von Kaninchen, deren Eigenwärme in Luft von 36 bis 40° auf 44 bis 45° gesteigert wurde.

Ich glaube nicht, dass sichere Aussicht auf Siechthum und frühzeitigen Tod erwerbsüchtige Arbeiter und ehrgeizige Ingenieure von einer Arbeit abhalten würde, welche eine Körperwärme von 40° zur Folge hat. Wohl aber wird das mit solcher Arbeit verknüpfte, ständig wiederkehrende Unbehagen die Leute von derselben ferne halten. Hierdurch wird eine praktische Grenze fixirt für den Temperaturgrad der Luft, bei welchem Tunnelarbeiten zwar noch ausführbar sind, aber nicht mehr ausgeführt werden, nämlich jene Lufttemperatur, in welcher die Körperwärme auf 40° steigt. Die Sanitätspolizei würde diese Grenze bewachen und die Bergpolizei würde ihr Ueberschreiten ebenso kategorisch verbieten, wie sie z. B. Grubenräume absperrt, welche unabwendbar einzustürzen drohen, oder wie sie die Arbeit in anderen Grubenräumen sistirt, wo sich schlagende Wetter in solcher Menge anhäufen, dass deren Explosion, trotz allen Vorsichtsmaassregeln, nicht verhütet werden kann.

Da ein Ueberschreiten der anderen Temperaturgrenze, bei welcher die Körperwärme 42° erreicht, binnen Stunden den Tod zur Folge haben könnte, so beginnt mit dieser Grenze die physische Unmöglichkeit unterirdischer Arbeiten. Es ist von praktischem Gewicht auch diese Grenze zu fixiren; denn wenn man durch künstliche Mittel die Lufttemperatur auch so weit unter die Gesteinstemperatur herabsetzt, dass Arbeit noch ausführbar wird, so würde ein zufälliges Versagen dieser Mittel die traurigsten Folgen haben, wenn die Temperatur der Arbeitsräume plötzlich und unabhelfbar zu einer Höhe stiege, welche sogar die Flucht der Arbeiter hinderte.

In folgender Tab. V habe ich die Lufttemperaturen zusammengestellt, bei welchen, unter gleichzeitiger Voraussetzung verschiedener Anstrengungen, die Körperwärme von 40° und 42° eintritt; bis zu diesen Lufttemperaturen sind also unterirdische Arbeiten ausführbar, bez. möglich.

Tabelle V. Lufttemperaturen und Anstrengungen, bei welchen Fieberhitze von 40 und 42° eintritt.

Innere Wärme, C.	Entsprechende Wärme unter der Zunge, C.	Differenz 𝔇 mit der normalen Wärme 37·51 (bez. 36·58.)	Coëfficient p, womit die normale Pulszahl zu multipliciren ist, um die bei 40 und 42° herrschende zu erhalten.	Hervorgebracht bei einer Anstrengung η = unter den atmosphärischen Verhältnissen des Gotthard-Tunnels in … durch die Lufttemperatur:									
				Göschenen					Airolo				
				0	1	2	3	4	0	1	2	3	4
1	*2*	*3*	*4*	*5*	*6*	*7*	*8*	*9*	*10*	*11*	*12*	*13*	*14*
40	39·08	2·5	1·647	53·5	49·6	**45·7**	41·9	38·0	42·8	40·2	**37·7**	35·1	32·5
42	41·08	4·5	2·455	84·7	80·8	**76·9**	73·0	69·1	65·4	62·8	**60·3**	57·7	55·1

Die Ziffern in den Spalten 5—14 vorstehender Tabelle sind berechnet, indem in die Formeln auf S. 104 für 𝔇 2·5 bez. 4·5 und für η successive 0…4 eingesetzt wurde. Zu dem sich daraus ergebenden Werth von Δ wurde sodann 14·58° gelegt, d. h. die Mitteltemperatur, bei welcher ich meine normale Eigenwärme ermittelte (Tab. I). Die Zahlen der zweiten Columne sind gleich jenen der ersten, minus 0·92 gesetzt, da nach Tab. I u. f. die mittlere gewöhnliche Temperatur unter meiner Zunge 36·58° ist, d. i. 0·92° tiefer, als die gewöhnlich angenommene mittlere normale Körperwärme von 37·5°.

Dass, wie vorstehende Tabelle voraussetzt, Anstrengungen bis 4 bei Tunnelarbeiten vorkommen, wenn auch nur vorübergehend bei forcirter Arbeit, Heben grosser Lasten u. s. w., scheint mir unbestreitbar. Dass aber die meisten Tunnelarbeiten grössere Anstrengung als 1 erheischen, scheint mir daraus zu folgen, dass schon das zwanglose Gehen im Tunnel bei mir eine mittlere Anstrengung von 1·06 zu Göschenen und 0·74 zu Airolo beansprucht (S. 105). Die wirkliche tägliche Arbeitszeit eines Schutters im Richtstollen verhält sich zu der eines gewöhnlichen Tunnelhandarbeiters wie $1:1^1/_4$; dagegen verhalten sich die mittleren Tagesverdienste dieser Leute ungefähr wie $1^3/_5:1$. Sind diese Lohnsätze gerecht (woran nicht zu zweifeln, da sonst die Leute nicht bleiben würden), so scheint mir aus beiden gegebenen Verhältnisszahlen zu folgen, dass ein Schutter mit der Anstrengung $\eta = 1{\cdot}25 \times 1{\cdot}6 = 2$ arbeiten muss, wenn ein gewöhnlicher Handlanger mit der Anstrengung 1 arbeitet.

Hiernach werden die Ziffern der Spalten 7 und 12 vorstehender Tabelle maassgebende Temperaturgrenzen für die Ausführbarkeit und die Möglichkeit von Tunnelarbeiten. Ausführbar sind solche noch bei

45·7° unter den atmosphärischen Verhältnissen der Göschener Tunnelseite; bei 37·7° unter jenen der Airoleser; möglich, bei bez. 76·9° und 60·3°. Letzteren Temperaturgraden entsprechen zufälliger Weise jene, bei welchen Albumin coagulirt, bez. sich trübt.

Setzen wir die Anstrengung 1 voraus, so führen die Ziffern der Spalte 6 und 11 erster Linie, nämlich 49·6 und 40·2° zu denselben Temperaturgrenzen, welche nach S. 83 Hr. du Bois-Reymond a priori fixirte (50° in trockener Luft, 40° in mit Feuchtigkeit gesättigter).

Könnte mit der Anstrengung 8.23 gearbeitet werden, so würde ebensowohl unter den atmosphärischen Verhältnissen der Göschener als der Airoleser Tunnelseite bei der Lufttemperatur 21·4° die Grenze der Ausführbarkeit von Tunnelarbeiten erreicht sein; und wäre eine Anstrengung 14·85 möglich, so läge bei 26·8° die Grenze ihrer Möglichkeit. Diese Relationen ergeben sich unmittelbar durch Einführung der Anstrengungscoëfficienten $\eta = 8 \cdot 23$ und 14·85, und der Werthe für $\mathfrak{D}$: 39·08° und 41·08° in die Gleichungen auf S. 104.

Die auf Tab. V zusammengestellten Grenztemperaturen wären nach den in Tab. IV a, b enthaltenen Beobachtungen für an Tunnelarbeit ganz ungewohnte Individuen um 0·9° zu vermindern, für habituelle Tunnelarbeiter um 1·9° zu vergrössern.

Es schien mir von besonderem praktischen Gewicht, festzustellen, ob bei erhöhter Temperatur der Umgebung die Nutzleistung der Arbeiter abnähme, wie solches aus der weiter oben gefundenen Beziehung zwischen instinctiver Anstrengung und Ueberhöhung der Eigenwärme anzunehmen ist.

Zu dem Ende habe ich den Arbeitseffect der Leute beim sogenannten Schuttern im Richtstollen, d. i. bei dem Verladen der gelösten Berge auf die Waggons, in Göschenen und Airolo, unter verschiedenen Lufttemperaturen, in Rechnung genommen. Die Schutterarbeit ist körperlich sehr anstrengend, weil sie in kurzer Zeit, theilweise in dickem Rauch, mitunter bei beschränktem Luftzutritt, vollzogen werden muss. Dagegen fordert sie nur geringe Fertigkeit und ist deshalb um so geeigneter für Berechnungen in angedeuteter Richtung. Bis zum April 1877 wurde in beiden Tunnelseiten mit verschiedenen Methoden des Schutterns experimentirt; seit dieser Zeit aber wird die Arbeit beiderseitig unverändert auf gleiche Weise ausgeführt.

Nach Beendigung der Bohrarbeit werden der Bohrmaschinenwagen und 2 bis 3 hinter ihm stehende Trucks, welche mit Injectionswasserreservoir, Bohrern, Bohrmaschinen und Utensilien beladen sind, etwa 38^{m} zurück-

geschoben. An diesen 14^m langen Park stösst der im Mittel 37^m lange Zug von 10 bis 15 zu ladenden Waggons. Der mittlere Förderweg vom Einbruch zu den Waggons beträgt also circa $38 + 14 + \frac{37}{2} = 70 \cdot 5^m$ (70 bis 75^m).

Neben dem 1^m weiten Hauptgeleis liegt ein zweites nur $0 \cdot 3^m$ weites, auf welchem in langen schmalen Waggonets die in Körbe gefüllten Berge vom Einbruch nach den zu lastenden Waggons gefördert werden. Beim Laden werden immer 2 Waggons so weit auseinander geschoben als das Waggonet lang ist, so dass zwischen beiden Platz genug für die Arbeiter ist, welche beide Waggons gleichzeitig laden. Die rückwärtsstehenden Wägen werden stets zuerst geladen und dann folgweise die dem Einbruch näher stehenden. Der regelmässige „Schutterposten" besteht aus 20 Mann, nämlich, 1 *Chef de poste*, 2 Feuerwerkern, (welche die Löcher laden, anzünden, nach dem Abschiessen revidiren und beräumen) und 17 *manoeuvres*. Letztere bilden 4 Abtheilungen, nämlich 4 „*sappeurs*", welche die Körbe füllen, 4 „*rouleurs*", welche sie abnehmen, auf die Waggonets setzen und zu den Waggons schieben; 4 „*chargeurs*", welche (mit Hülfe der *rouleurs*) die Waggons laden. Der 17. Mann hilft wo gerade nöthig.

Diese Eintheilung der Mannschaft kann zwar nicht immer streng innegehalten werden, indem mitunter einzelne Leute des Postens fehlen oder andere zur Beschleunigung des Schutterns von benachbarten Arbeitsstellen zugezogen werden; doch habe ich gefunden, dass man durch Annahme von 17 Schuttern pro Posten der Wahrheit näher kommt, als durch Versuche die täglich variirende wirkliche Zahl nach den Rapporten ausfindig zu machen.

In der folgenden Tab. VI sind die Beobachtungsdaten zusammengestellt, welche in die Rechnung eingehen.

Da in den ersten Monaten nach Einführung der oben skizzirten Schuttermethode noch mancherlei kleine Aenderungen in ihrer Ausführung zu treffen waren, ehe alles wohl ineinandergriff, so habe ich nur Daten von August 1877 an benutzen mögen. Im übrigen war es mit einigen Schwierigkeiten verknüpft, für den Vergleich Monate auszuwählen, in denen die Lufttemperaturen beim Schuttern möglichst differirten, in denen der Arbeitsfortschritt ein mittlerer war, und keine besonderen Arbeitsstörungen vorkamen.

Zu den Ziffern Spalte 8 ist anzumerken, dass dieselben Mittelzahlen sind aus: 1) der Temperatur vor Ort beim Schuttern in dem betreffenden Monate (Spalte 1); 2) der Lufttemperatur hinter Ort (im Mittel circa 100^m rückwärts von Einbruch) im gleichen und dem nächst vorgehenden Monat. Beispielsweise ist für August 1877, Airolo: Lufttemperatur vor

Ort beim Schuttern 27·95°, Temperatur hinter Ort: Juli 27·01, August 28·03; mittlere Temperatur H. O. also 27·52. Mithin mittlere Temperatur in welcher die Schutterarbeit ausgeführt wurde (Spalte 8):

$$\frac{27 \cdot 95 + 27 \cdot 52}{2} = 27 \cdot 74^0.$$

Tabelle VI. Arbeitsleistung beim Schuttern in verschiedenen Lufttemperaturen.

	Zeit.	Längenfortschritt des Richtstollens. Meter.	Mittler Querschnitt desselben. Quadratmeter.	Ausbruch. Solide Kubikmeter.	Schutterzeit. Stunden.	Mittlere Anzahl Schutter.	Arbeitsstunden zu 1 Kubikmeter.	Mittlere Lufttemperatur beim Schuttern T.	Differenz Δ zwischen Lufttemperatur und 14·58°.	Anmerkungen.
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Göschenen.	Sept. 1877	129·0	7·073	912·4	369·83	17 Mann, 1 Chef de poste, u. 2 Feuerwerker.	6·891	24·50	9·92	* Diese Zahlen drücken d. Stundenzahl aus, welche ein Mann (von den 17 arbeitenden) zum Schuttern von 1cbm aufwenden würde.
	Juni 1878	124·0	6·802	843·4	342·16		6·897	26·12	11·54	
	März 1879	120·4	6·496	779·5	330·33		7·204	28·47	13·89	
					Im Mittel:		6·997	26·36	11·78	
Airolo.	Aug. 1877	106·4	6·27*	667·1	310·27	17 Mann, 1 Chef de poste.	7·906	27·74	13·16	* In den Rapporten sind die mittleren Querschnitte dieser Monate nicht angegeben, weshalb dieselben hier gleich der Mittelzahl aller übrigen angenommen werden.
	Sept. „	78·6	6·27*	492·8	234·27		8·081	27·52	12·94	
	Oct. „	106·3	6·30	669·7	325·50		8·283	27·93	13·35	
	Sept. 1878	123·5	6·27*	774·3	340·80		7·482	29·54	14·96	
	Dec. „	122·3	6·13	749·7	324·39		7·354	29·57	14·99	
	März 1879	67·6	6·38	431·3	297·54		11·728	30·20	15·62	
					Im Mittel:		8·472	28·75	14·17	

Aus den 3 Göschener Daten folgt nach der kleinsten Quadratmethode als Anzahl Arbeitsstunden h eines Mannes zum Schuttern von 1 solidem Kubikmeter Ausbruch:

$$h = 6 \cdot 0245 + 0 \cdot 0826\ \Delta.$$

Dagegen führen die 6 Airoleser Daten direct zu keiner verständigen Relation zwischen h und Δ, offenbar weil die in Rechnung geführten Temperaturdifferenzen Δ so wenig von einander abweichen, dass ihr Einfluss auf den Arbeitseffect von anderen zufälligen Einflüssen (Störungen im regelmässigen Betrieb) bei weitem überwogen wird.

Doch können wir durch Zuziehung der für Göschenen gefundenen Beziehung zwischen h und Δ wenigstens annähernd auch für Airolo die Abhängigkeit des zu bezahlenden Arbeitsaufwandes von der Lufttemperatur

ermitteln. Für eine mittlere Temperatur $28{\cdot}75^0$ (also $\varDelta = 28{\cdot}75 - 14{\cdot}58 = 14{\cdot}17$) ist zu Airolo $h = 8{\cdot}472$. Für das gleiche $\varDelta$ aber giebt die Göschener Formel:

$$h = 6{\cdot}0245 + 0{\cdot}0826 \times 14{\cdot}17 = 7{\cdot}195.$$

Da sich also die vom Einfluss des Temperaturunterschiedes möglichst befreiten Arbeitsquanten in beiden Tunnelseiten verhalten wie $8{\cdot}472 : 7{\cdot}195$, so können wir mit Fug annehmen, dass zu Airolo für $\varDelta = 0$ (d. h. $T^0 = 14{\cdot}58$) die Anzahl Arbeitsstunden zum Schuttern von 1 Kubikmeter $\frac{6{\cdot}0245 \times 8{\cdot}472}{7{\cdot}195} = 7{\cdot}094$ ist, und dass sich diese Zahl pro Grad Temperaturzunahme um $\frac{8{\cdot}472 - 7{\cdot}094}{14{\cdot}17} = \frac{1{\cdot}378}{14{\cdot}17} = 0.0972$ vermehrt. Daher hätten wir für die Airolotunnelseite allgemein: $h = 7{\cdot}094 + 0{\cdot}0972\, \varDelta$.

Das Verhältniss zwischen dem Arbeitsaufwand zum Schuttern von 1^{cbm} bei gleicher Temperatur zu Göschenen und zu Airolo ist: $\frac{6{\cdot}025 + 0{\cdot}0826\, \varDelta}{7{\cdot}094 + 0{\cdot}0972\, \varDelta} = 1 : 1{\cdot}177$, also gleich dem Verhältniss der absoluten Feuchtigkeit in beiden Tunnelseiten, für welches wir fanden $1 : 1{\cdot}1783$. In diesem Verhältniss wird voraussichtlich nicht nur die Schutterarbeit sondern wohl alle Handarbeit in der Airolotunnelseite theurer als in der Göschener Seite; und sofern die Art der Arbeit und der dazu verwendbare Raum keine Vermehrung des Arbeitpersonals zulassen, zugleich auch verzögert.

Untersuchen wir den praktischen Einfluss der Lufttemperatur auf den Arbeitsbetrieb des Richtstollens, so stossen wir auf folgendes:

Zu Airolo wurde in dem oben (Tab. VI) aufgeführten 6 Monaten ein Mittel verwendet

auf Abbohren der Löcher von der ganzen Arbeitszeit	50·6	Proc.
„ Schuttern „ „ „ „ „ „	40·1	„
Versäumnisse (Schienenlegen, Einbau, Röhrenbrüche u. s. w., Luftmangel)	9·3	„

Das maschinelle Abbohren der Löcher wird durch die Temperatur der Umgebung nicht wesentlich beeinflusst; die versäumte Zeit, während welcher grösstentheils auch Handarbeit stattfand, können wir hier aber geradezu zu der Schutterzeit legen. Es beanspruchen also:

Durch die Temperatur nicht wesentlich beeinflusste Arbeiten von der ganzen Arbeitszeit	50·6	Proc.
durch die Temperatur beeinflusste Arbeiten	49·4	„

In der Mittelstrecke des Tunnels hat man nach dem nächsten Capitel einer mittleren Temperatur beim Schuttern entgegenzusehen von 32·56°[1].

Dieser Temperatur entsprechen Arbeitsstunden zum Schuttern von 1 Kubikmeter Stollen-Ausbruch:

$$h = 7 \cdot 094 + 0 \cdot 0972\,(32 \cdot 56 - 14 \cdot 58) = 8 \cdot 842.$$

In den in Betracht gezogenen 6 Monaten (1877—79) war aber bei $T = 28 \cdot 75 : h = 8 \cdot 472$.

Durch Steigen der Temperatur von 28·75° auf 32·58° steigt also die Schutterzeit von 1 auf $\frac{8 \cdot 842}{8 \cdot 472} = 1 \cdot 044$, und die Gesammtarbeitszeit von 1 auf $0 \cdot 506 + 0 \cdot 494 \times 1 \cdot 044 = 1 \cdot 022$. In gleicher Proportion müssen (von anderen Einflüssen abgesehen) auch alle Arbeitskosten zunehmen und in gleicher Proportion der erzielte Stollenfortschritt abnehmen. Letzterer war in den behandelten 6 Monaten im Mittel 100·8^{m}; er würde in der Scheitelstrecke (gleiche Gesteinsverhältnisse, Wasserzuflüsse und zufällige Störungen vorausgesetzt) auf $\frac{100 \cdot 8}{1 \cdot 022} = 98 \cdot 6^{m}$ sinken.

Zu Göschenen beanspruchte im Sept. 1877, Juni 1878, März 1879

die Bohrarbeit	im Mittel	49·2	Proc.	der ganzen Arbeitszeit
das Schuttern	„ „	48·5	„	„ „ „
Zeitverluste	„ „	2·3	„	„ „ „

daher Schuttern und Versäumnisse zusammen 50·8 Proc.

In der Mittelstrecke des Tunnels wird das Schuttern von 1 Km. Ausbruch bei 32·56°: $6 \cdot 0245 \times 0 \cdot 0826\,(32 \cdot 56 - 14 \cdot 58) = 7 \cdot 510$ Arbeitsstunden beanspruchen, während es in den 3 in Rechnung geführten Monaten nach Tab. VI bei 26·36° 6·997 Arbeitsstunden wegnahm. Die Schutterzeit verlängert sich mithin auf $\frac{8 \cdot 5096}{6 \cdot 997} = 1 \cdot 073$; die Gesammtarbeitszeit würde anstatt $1 \div 0 \cdot 492 + (0 \cdot 508 \times 1 \cdot 073) = 1 \cdot 037$; und wenn man in den in Rechnung gezogenen 3 Monaten bei 26·36° im Mittel 124·5^{m} Monatsfortschritt erzielte, wird man (unter sonst gleichen Verhältnissen) bei 32·56° nur $\frac{124 \cdot 5}{1 \cdot 032} = 120 \cdot 05^{m}$ erreichen, während die Arbeitskosten 3·7 Proc. grösser werden.

Dies gilt zunächst vom Richtstollen. Wir werden aber im zweiten Abschnitt sehen, dass mit der Temperatur desselben auch jene aller rück-

---

[1] Gesteinstemperatur 31·75; Schuttertemperatur vor Ort 31·75 + 1·49 = 33·24°
Mittlere Lufttemperatur hinter Ort . . . . 31·75 + 0·13 = 31·88°

Mittlere Temperatur, in welcher die Schutterarbeit verrichtet werden wird . . . . 32·56°

wärts liegenden Arbeitsräume steigt. Daraus folgt, dass alle Handarbeit im Tunnel während Weitereindringens des Richtstollens in wärmeres Gebirge in derselben Proportion verzögert und vertheuert wird, welche wir für den Richtstollen selbst ermittelt haben.

Bei den in Tab. V zusammengestellten Temperaturgrenzen für die Zulänglichkeit und Möglichkeit von Tunnelarbeit würden sich folgende Arbeitsaufwände zum Schuttern von 1 Kubikmeter herausstellen.

Unter Göschener atmosphärischen Verhältnissen ist bei der Lufttemperatur 45·7° Tunnelarbeit noch zulässig, bei 76·9° noch möglich. Nach der Formel auf S. 115 für die Anzahl Arbeitsstunden zum Schuttern von 1 Kubikmeter, nämlich $h = 6·0245 + 0·0826\ \Delta$, erhalten wir für die Lufttemperatur 45·7°, $h = 6·0245 + 0·0826\ (45·7 - 14·58) = 8·595$, und für die Lufttemperatur 76·9°, $h = 6·0245 + 0·0826\ (76·9 - 14·58) = 11·172$. Mithin werden bei diesen Grenztemperaturen Handarbeiten um das $\frac{8·595}{6·0245} = 1·42$, bez. um das $\frac{11.172}{6·0245} = 1·85$ fache verzögert und vertheuert, gegen den normalen Arbeitsaufwand (6·0245) bei der Lufttemperatur 14·58°.

Unter Airoleser atmosphärischen Verhältnissen sind bei den Grenztemperaturen 37·7° und 60·3° zum Schuttern von 1 Kubikmeter die Arbeitsstunden $h = 7·094 + 0·0972\ (37·7 - 14·58) = 9·341$ und $h = 7·094 + 0·0972\ (60·3 - 14·58) = 11·538$ erforderlich; d. h. 1·31 bez. 1·63 mal so viele, als wenn die Arbeit bei 14·58° verrichtet würde. Obwohl diese Proportionen günstiger sind als die für Göschenen ermittelten, so ist doch nicht zu vergessen, dass der absolute Arbeitsaufwand unter Göschener Verhältnissen selbst bei 8° bis 16° höheren Temperaturen noch kleiner ist, als unter Airoleser bei niedrigeren Temperaturen.

Zweiter Abschnitt.

II. Bei welcher Höhe des über den Tunnel liegenden Gebirges ist eine Temperatur zu erwarten, welche Fortsetzung der Arbeit hindern würde?[1]

Wollte man bei Beantwortung dieser Frage von jenem Wärmezunahmegradienten ausgehen, welchen z. B. die Versuche Reich's zu Freiberg (Grube Himmelfahrt) ergeben haben: 1° auf 33·4^{m}, oder von jenem, welcher sich aus Dunker's Beobachtungen im Speren-

[1] Der Verfasser begiebt sich in einem Theile des zweiten Abschnittes auf ein den Zwecken dieser Zeitschrift fremdes Gebiet. Ich habe aber geglaubt, seine Ar-

berger Bohrloch zwischen 220 und 1064 m Tiefe ableiten lässt, nämlich 1° auf 31·4 m, so würde man zu sehr unrichtigen Resultaten kommen und zwar zu unerträglichen Hitzegraden in geringeren Tiefen, als sie der Mont-Cenis- und Gotthard-Tunnel schon unterfahren haben.

Diese Wärmezunahmegradienten beziehen sich auf das verticale Eindringen unter fast ebene Flächen; ein Tunnel bleibt aber der Hauptsache nach auf seine ganze Länge in gleicher Entfernung vom Erdmittelpunkt; und auf die in ihm herrschende Gesteinstemperatur üben die über ihm liegenden, seitlich freien, Gebirgsmassen einen anderen Einfluss aus, als eine geschlossene Schale der Erdkruste thun würde, deren Dicke der Höhe dieser Gebirgsmassen gleich wäre.

Ansted berechnete aus den von Giordano veröffentlichten Temperaturbeobachtungen Borelli's in der Südseite des Mont-Cenis-Tunnels einen Wärmezunahmegradienten für den Culminationspunkt des Profiles von 1° pr. 50 m; fand aber, dass der Gradient je nach Configuration der Oberfläche für verschiedene Punkte des Tunnels sehr verschieden sei, wie aus folgender Tabelle erhellt:

Tabelle VII. Temperaturbeobachtungen im Mont-Cenis-Tunnel.[1]

Beobachtung. Nr. der	Entfernung vom Südportal.	Tiefe unter Oberfläche.	Temparatur C°.	Tiefe, in welcher die Temperatur 1° zunimmt.
	Meter.			
3	1000	520	17·0	24
5	2000	520	19·4	27
8	3000	520	22·8	33
9	4000	520	23·6	35
10	5000	910	27·5	36
11	6000	1370	28·9	46
12	6448	1609	29·5	50
14	7000	1447	27·0	51
			Im Mittel: 37·75	

beit in ihrer vollen Ausdehnung in das *Archiv* aufnehmen zu sollen, da der ein unmittelbares physiologisches Interesse beanspruchende erste Abschnitt nicht wohl aus dem Zusammenhange gelöst werden konnte, dem er entsprang, und da am Schlusse des zweiten Abschnittes die Untersuchung auch vielfach wieder eine die Medicin und Physiologie berührende Wendung nimmt. Ohnehin erweckt sowohl die Frage nach der inneren Wärme der Gebirge als auch nach der Ausführbarkeit von Arbeiten in deren Schoss die Theilnahme jedes allgemein naturwissenschaftlich Gebildeten. [E. d. B.-R.]

[1] Entlehnt aus: *Zeitschrift der österr. Gesellschaft für Meteorologie* von Jelicek und J. Hann. Bd. VII, Nr. 23; 1. Dec. 1872.

Meine von 1873—77 im Gotthardtunnel bis 4400^{m} vom Nordportal und 4100^{m} vom Südportal angestellten Temperaturbeobachtungen habe ich in *Studien über die Wärmevertheilung im Gotthard* (1. Theil, Bern 1877, Verlag der J. Dalp'schen Buchhandlung) zusammengestellt und aus denselben empirische Formeln hergeleitet, welche zunächst dazu bestimmt waren, eine begründete Vorstellung über die im Gotthard-Tunnel noch zu gewärtigenden Temperaturverhältnisse zu gewinnen. Da sich diese Formeln für die folgenden 2000—3000^{m} des Tunnels bewährt haben, so will ich die Hauptresultate der Gotthardbeobachtungen hier in Kürze mittheilen.

Für einen Punkt in der Profillinie des Gotthard-Tunnels ist die mittlere jährliche Lufttemperatur

VIII. $T = 5{\cdot}359^{0} + 0{\cdot}000066\,D - 0{\cdot}006839\,(H - 1100)$, wenn D seine Entfernung (in Metern) vom Göschener Tunnelportale, H seine Meereshöhe (gleichfalls in Metern) bezeichnet.

Die (hier in Betracht kommende) mittlere Bodentemperatur des Profilpunktes ist nahe unter der Oberfläche um

IX. $\Delta = 4{\cdot}032^{0} - 0{\cdot}2718\,T - 0.00174\,T^{2}$ grösser als die mittlere Lufttemperatur (T).

Auf der Nordseite hat die rascheste Wärmezunahme nach dem Inneren unter der Andermatter Ebene bei 2800—2900 vom Portal statt: nämlich 1^{0} auf 20·5^{m}, die langsamste unter dem steilansteigenden Abhang der Wannelen 4300—4400^{m} vom N.-P., nämlich 1^{0} auf 42,6^{m}. Auf der Südseite hatte (zwischen 0 und 4100^{m} vom Portal) die rascheste Wärmezunahme statt unter der Thalmulde des Sellasees 3800 bis 4200^{m} vom S. P., nämlich 1^{0} auf 45^{m}; die langsamste unter dem Steilkamm der Cima Loitamisura, 2000—2200^{m} vom Portal, nämlich 1^{0} auf 62,3^{m}.

Es ist zwar unverkennbar, dass Wasserzuflüsse und verschiedene Gesteinsbeschaffenheit einen nicht zu unterschätzenden Einfluss auf die localen Wärmezunahmegradienten ausüben. Ein Blick auf das Chtonisothermenprofil in der Ebene des Gotthardtunnels, welches ich nach den directen Beobachtungen bis 5000^{m} vom N.-P. und 4600^{m} vom S.-P. im März 1878 für die Pariser Ausstellung entworfen habe, zeigt aber sofort, dass diese Gradienten vor Allem durch die Oberflächencontouren des über dem Tunnel liegenden Terrains modificirt werden.

In gleicher Tiefe ist es unter Bergspitzen kälter als unter Thälern und Ebenen, theils weil die Oberflächentemperatur mit zunehmender Meereshöhe des Terrains abnimmt, theils weil unter Bergspitzen die Ge-

steinstemperatur nach dem Erdinneren langsamer zunimmt, als unter Ebenen und Thälern.

Deshalb entfernen sich die Isothermallinien von einander unter allen Bergen, während sie sich unter allen Thälern nähern.

Es wäre für das Projectiren von Hochgebirgstunneln von Interesse, a priori die, verschiedenen Profilpunkten zukommenden, Wärmezunahmegradienten nach dem Inneren ermitteln zu können; — und da die mittlere Bodentemperatur an einem gegebenen Punkte gleichzeitig von diesem Zunahmegradienten und von der mittleren Temperatur der Oberfläche (Luft, Wasser, Schnee) abhängt, so lässt sich die Aufgabe durch Ermittelung der Bodentemperatur und der Luftttemperatur an der Oberfläche lösen, wie ich im 2. Theil oben citirter Schrift zu zeigen versuchen werde.

Zur Beantwortung der hier zunächst gestellten Frage genügt es jedoch, die Erfahrungen vom Gotthardtunnel direct zu verwenden.

Aus den Temperaturbeobachtungen in beiden Tunnelseiten (bis 1877) habe ich folgende Gleichungen abgeleitet, um den Zusammenhang zwischen Zunahme δ der Gesteinstemperatur und der verticalen Tiefe h oder der kürzesten Entfernung n unter Oberfläche darzustellen.[1]

XII. $\delta = 0\cdot02068\cdot h$

Xb. $\delta = \pm\sqrt{41\cdot6593 - 0\cdot1517 h + 0\cdot00011195 h^2)} + 6\cdot45 + 0\cdot01058 h$

XV. $\delta = 0\cdot02159\cdot n$

XIII. $\delta = \pm\sqrt{36\cdot1682 - 0\cdot1278 n + 0\cdot000102 n^2)} + 6\cdot01 + 0\cdot01016 n.$

In Formel XV ist der normale Abstand (n) zur Oberfläche eingeführt, um dem Einfluss der Oberflächenform und der Masse des überliegenden Gebirges auf die Temperaturzunahme in kürzester Weise möglichst Rechnung zu tragen.

Die Formeln X^b und XIII bezwecken indirect dasselbe. Sie drücken empirisch aus, dass die Wärmezunahme in grösseren Tiefen abnimmt, wie schon die oben citirten Extremgradienten zeigen und noch mehr ein Vergleich sämmtlicher vorliegender Beobachtungen. Doch darf man nicht vergessen, dass die Temperaturbeobachtungen im Tunnel nicht in verschiedenen Niveaus einer und derselben Verticalen angestellt wurden, sondern in einer (fast) horizontalen Linie unter coupirtem Terrain.

Die in Rechnung gezogenen verschiedenen Tiefenstufen liegen also nebeneinander, und da die ihnen entsprechenden Wärmezunahme-

---

[1] Die Gesteinstemperatur selbst ist $t = T + \Delta + \delta$; T wird nach VIII. berechnet; Δ nach IX.; δ nach XII; Xb.; XV oder XIII.

gradienten unter den Thälern, d. h. in den verhältnissmässig geringsten Tiefen, am grössten sind, so müssen die Formeln bis zu gewissen Tiefen eine mit zunehmender Tiefe scheinbar abnehmende Wärme ergeben. Sie dürfen nicht etwa als Ausdruck des allgemeinen Wärmezunahmegesetzes nach dem Erdinneren aufgefasst, überhaupt nicht verallgemeinert werden.

Beide Formeln (X^b und XIII) ergeben imaginäre Werthe für δ in Tiefen $h = 382 \cdot 6$ bis $969 \cdot 4$ und $n = 438$ bis $799 \cdot 9$. Wir werden weiter unten sehen, dass in diesen Tiefengürteln der behandelten Profilstrecken horizontal verlaufende Isothermen liegen.

Viele vergleichende Rechnungen und Beobachtungen haben ergeben, dass die einfache Formel XII zur Lösung praktischer Fragen völlig genügt. Nur darf man bei ihrer Anwendung nicht vergessen, dass die Temperaturzunahme von $2 \cdot 07^0$ auf 100^m oder von 1^0 auf $48 \cdot 4^m$ eine mittlere, allen mit dem Gotthard-Tunnel (bis 1877) unterfahrenen Terrainformen möglichst entsprechende, ist. Die Formel giebt deshalb zu hohe Werthe für Punkte unter Bergkämmen, zu niedrige für solche unter Thälern und Ebenen; und zwar können die daher entspringenden Abweichungen bis $4{,}94^0$ betragen. Berechnet man dagegen nach der gleichen Formel die mittlere Temperatur einer grösseren Tunnelstrecke, unter coupirtem Terrain, so ergiebt sie ganz richtige Resultate. Als Beleg mögen die Beobachtungen vom Jahre 1878 im südlichen[1] Tunnelstollen zwischen $4613 \cdot 6$ und $5843 \cdot 6^m$ dienen, welche hier dem „*VIII. Geschäftsbericht der Direction und des Verwaltungsrathes der Gotthardbahn pr. 1878*“ entlehnt sind. (Siehe Tab. VIII, folg. Seite.) Die einzelnen nach der Formel berechneten Gesteinstemperaturen (Spalte 5) weichen zwar zum Theil um mehrere Grade sowohl von den direct beobachteten (Spalte 6), als von den aus den Lufttemperaturbeobachtungen hinter Ort ermittelten (Spalte 9) ab. Ihre Mittelzahl $29 \cdot 6^0$ differirt aber nur um $0 \cdot 2^0$ mit der Mittelzahl $29 \cdot 4$ der letzteren; und das Mittel aus den 8 direct beobachteten Gesteins- und Wassertemperaturen (Spalte 6 u. 7): $29 \cdot 2^0$, ist genau gleich dem Mittel der 8 entsprechenden berechneten Gesteinstemperaturen (Spalte 5).

Für eine mittlere Tiefe von $2371 \cdot 1^m$ (Spalte 3) unter Terrain in $2530 \cdot 8^m$ mittlerer Meereshöhe (Spalte 2) ist die Mittelzahl der einzelnen für 100 zu 100^m Tunnellänge berechneten Wärmezunahmegradienten (Spalte 10) $0 \cdot 0206$; oder der mittlere, aus denselben Beobachtungsdaten

[1] Im nördlichen Tunnelstollen waren 1878 die normalen Wärmeverhältnisse durch Thermen sehr gestört; deshalb können die betreffenden Beobachtungen hier nicht als Beweismittel gelten.

Tabelle VIII. Temperaturbeobachtungen im Südstollen des Gotthardtunnels 1878.

Portal-distanz.	Mittlere Höhe; Meter.		Bodentemperatur Θ; berechnet n. VIII; IX.	Berechnete Gesteinstemperatur; VIII; IX; XII.	Beobachtete Temperatur C⁰.			Gesteinstemperatur = Luftt. H·0 + ·0·23.	Wärmezunahme gradient δ nach 4,9 und 3.	Tiefe von Oberfläche zur Horizontal-Isotherme in 1621·3 m über Meer.	Gesteinstemperatur in der Horizontalisotherme 1621·3.	Differenz der vorgehenden mit der Mitteltemperatur 19·84.	Anmerkungen.
	Terrain über Meer.	Gebirge über Tunnelscheitel.			des Gesteines.	des Wassers.	der Luft 100—200 m hinter Ort.						
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
4600— 700	2497·8	1338·8	1·4	29·1	—	28·6	29·3	29·5	0·0210	876·5	19·9	+0·1	Die Gesteinstemperaturen nach Spalte 9 sind gleich den Lufttemperaturen hinter Ort (Spalte 8) plus 0·23. Die bei 4800—900; 5100—200; 5700 bis 800 direct gemessenen Gesteinstemperaturen (Spalte 6) weichen nämlich im Mittel um 0·23 von den entsprechenden Lufttemperaturen hinter Ort ab.
700— 800	2518·5	1359·0	1·3	29·5	—	28·8	28·6	28·8	0·0202	897·2	19·5	—0·3	
800— 900	2566·2	1406·6	1·1	30·2	28·2	—	27·9	28·1	0·0192	944·9	19·2	—0·6	
4900—5000	2621·3	1461·7	0·8	31·1	—	—	28·4	28·6	0·0190	1000·0	19·8	0·0	
5000— 100	2688·1	1528·4	0·5	32·1	—	—	28·4	28·6	0·0184	1066·8	20·1	+0·3	
100— 200	2672·4	1512·7	0·5	31·8	28·7	—	28·1	28·3	0·0184	1051·1	19·9	+0·1	
200— 300	2607·4	1447·6	0·9	30·8	—	—	29·4	29·6	0·0199	986·1	20·5	+0·7	
300— 400	2543·0	1383·3	1·2	29·8	—	—	29·6	29·8	0·0207	921·7	20·2	+0·4	
400— 500	2491·4	1331·5	1·4	29·0	—	29·4	29·4	29·6	0·0212	870·1	19·9	+0·1	
500— 600	2452·3	1292·4	1·6	28·4	—	29·7	30·0	30·2	0·0221	831·8	20·0	+0·2	
600— 700	2420·2	1260·2	1·8	27·9	—	—	29·3	29·5	0·0220	798·9	19·4	—0·4	* Der erste Coëfficient ist Mittelzahl der vorstehenden Einzelwerthe; der zweite nach der kleinsten Quadratmethode berechnet.
700— 800	2411·8	1251·8	1·8	27·7	29·5	—	29·7	29·9	0·0224	790·5	19·5	—0·3	
5800— 900	2410·5	1250·5	1·8	27·7	—	30·7	30·6	30·8	0·0232	789·2	20·5	+0·3	
Mittelwerthe	2530·8	1371·1	1·2	29·6	29·2 (6 und 7)			29·4	0·0206* resp. 0·0204	909·5	19·8	±0·4**	** Mittlerer Fehler des Mittels.

nach der kleinsten Quadratmethode berechnete Gradient 0·0204. Dagegen ergaben die Beobachtungen in der ersten 4000^m beider Tunnelseiten (bis 1877) den Gradienten 0·0207. Wir sind also zu einer Uebereinstimmung gekommen, welche bisher wohl noch nie bei Beobachtungen über die Wärmezunahme nach dem Erdinneren erreicht worden ist. (Die mittlere Tiefe, für welche der Gradient 0·0207 gefunden wurde, ist $645{\cdot}3^m$ unter Terrain in $1786{\cdot}2^m$ mittler Meereshöhe.)

Man könnte nun aus dem Unterschied der gefundenen Werthe für δ den Schlusssatz ziehen, dass der Wärmezunahmegradient mit zunehmender Tiefe abnimmt und zwar mit rund $0{\cdot}0000384^0$ pr. 100^m Tiefe, so dass er überhaupt $= 0{\cdot}02068 - [0{\cdot}000000384\,(h - 645{\cdot}3)]$ gesetzt werden könnte, und in einer Tiefe von 54550^m (52765^m unter Meeresniveau) gleich Null würde. Meinerseits möchte ich jedoch erst alle seit 1877 und bis zum Durchschlag des Gotthard-Tunnels angestellten Temperaturbeobachtungen im Zusammenhang berechnen, ehe ich einen solchen oder ähnliche Schlusssätze wage. Gegenwärtig sehe ich den Gradienten 0·0207 für alle Tiefen, unter welchen Tunnelanlagen überhaupt in Frage gekommen sind, als völlig ausreichend für praktische Berechnungen an.

Es wurde schon erwähnt, dass nach den Beobachtungen im Gotthardtunnel die Isothermen unter Ebenen und Thälern sich einander nähern, unter Bergspitzen dagegen auseinander rücken. Unter einem Terrain, dessen Oberfläche von regelmässig aneinander gereihten, gleich hohen und weiten Bergsätteln und Thalmulden gebildet wird, muss deshalb in gewisser Tiefe eine horizontale Isothermenebene liegen.

Ist die Oberfläche unregelmässig contourirt, so treten an Stelle dieser Horizontalisotherme viele solcher, für je kurze Strecken der Oberfläche; welche in verschiedenen Tiefen liegen und ungleiche Temperaturstufen bezeichnen. Die Tiefen, für welche nach Formel X^b und XIII die Temperaturzunahme imaginär wird, sind dieselben, in welchen unter Contourverhältnissen, wie sie im Gotthardtunnelprofil zwischen 0 und 4100 von beiden Portalen statthaben, die Horizontalisothermen liegen. Je nach der Specialcontourirung der Oberfläche variiren diese Tiefen zwischen 383 und 969^m. Auf kürzere Strecken hat sich der Gotthardtunnel schon nahe solchen Horizontalisothermen bewegt, zwischen 3600 und 4400^m vom S.-P., z. B. zwischen den Isothermenflächen 26^0—28^0, obwohl auf dieser Strecke die Meereshöhe des Terrains von 2232—$2423{\cdot}5^m$ variirte und die Höhe des überliegenden Gebirges von 1265—1073^m. Zwischen 4600 und 5900^m vom S.-P. schwankte die beobachtete Temperatur von 28·1—$30{\cdot}8^0$ bei Terrainhöhen üb. M. von 2410·5—2688·1 und Differenzen in der Höhe des überliegenden Gebirges

von 1250·5—1528·4 m. Für diese ergiebt die Rechnung Temperaturen von 27·7—31·8°.

Für die letzterwähnte Strecke (Tab. VIII) habe ich die Lage der Horizontalisotherme berechnet. Bezeichnet h die Höhe derselben über Meeresfläche, τ die in ihr herrschende Temperatur, H die Meereshöhe eines Profilpunktes; Θ die Oberflächenbodentemperatur derselben; δ den Wärmezunahmegradienten in der Vertikalen unter diesem Punkt, so haben wir $\tau = (H - h)\delta + \Theta$; oder $\tau + h\delta = H\delta + \Theta$.

Diese Gleichung enthält die beiden Unbekannten h und τ, und es würde die Kenntniss von H, Θ, δ für 2 Profilpunkte genügen, um h und τ zu ermitteln. Ich habe aber alle in Tab. VIII zusammengestellte Werthe für Θ (Spalte 4) δ (Spalte 10) H (Spalte 2) gleichzeitig in obige Gleichung eingesetzt und nach der kleinsten Quadratmethode berechnet:

$h = 1621 \cdot 3$ m (Horizontalisotherme über Meer), $\tau = 19 \cdot 8^0$ (Temperatur in dieser Horizontalisotherme). Spalte 11 giebt die Höhe der einzelnen Profilpunkte über der Horizontalisotherme 1621·3 m, Col. 12 die diesen Tiefen, (sowie δ nach 10 und Θ nach 4) zukommenden Temperaturen. Nach Spalte 13 weichen letztere um 0 bis 0·70 von $\tau = 19 \cdot 8^0$ ab und aus den einzelnen Abweichungen folgt als mittlerer Fehler des Mittels $\pm 0 \cdot 4^0$. Uebrigens liegt die Horizontalisotherme 19·8° ÷ 4600—5900 m vom S.-P. um 1371·1—909·5 = 462 m über dem Tunnelscheitel, und (im Mittel) 909·5 m unter Oberfläche, also noch in der durch Gleichung X^b ausgedrückten Zone. (Einzelwerthe der Spalte 11 fallen ausserhalb dieser Zone, was nicht befremden kann, da die Gleichung X^b aus Beobachtungen in viel geringeren Tiefen als den nun in Frage kommenden hergeleitet wurde.)

Da in einer gewissen Tiefe des Erdinneren alle Isothermenflächen unter sich parallel und mit der Erdkugelfläche concentrisch verlaufen müssen (d. h. theoretisch und von dem Einfluss localer Wärmeherde abgesehen), was aber mit den Isothermen im Inneren der Gebirge nicht der Fall ist, (denn die einzelnen Fragmente gleichwarmer Horizontalisothermen liegen in verschiedenen Tiefen, weshalb ihre Verbindungsstücke gewunden sein müssen), so folgt, dass die Wärmezunahmegradienten in verschiedenen Tiefen selbst derselben Verticalen nothwendig verschieden sein müssen, und dies nicht nur bis zur ersten localen Horizontalisothermalfläche, sondern weiter hinab bis zur ersten generellen, der Erdkrümmung folgenden. Dieser Satz dürfte manche Widersprüche lösen, welche bisherige Temperaturbeobachtungen im Erdinneren zeigen. Er bietet aber keinen Anhaltepunkt zur Beurtheilung der Wärmezunahme unterhalb der ersten der Erdkrümmung folgenden Isothermalfläche.

Für praktische (bergmännische und Tunnelbau-) Zwecke können wir

uns, wie schon erwähnt, mit dem Gotthard-Coëfficienten 0·0207 als dem sichersten begnügen, immer unter der Voraussetzung, dass er sachgemäss applicirt wird. Den Einfluss seitlicher Gebirgsmassen auf die in einem Punkt des Erdinneren herrschende Temperatur werde ich im zweiten Theile der schon erwähnten Schrift zu entwickeln suchen.

Die Theorie localer Horizontalisothermen unter gebrochenem Terrain ist hier wohl zum ersten Mal besprochen worden; etwas weitläufig, weil sie für den Bau von Hochgebirgstunneln von praktischer Bedeutung ist. Nach derselben kann die Temperatur in solchen auf Kilometer so gut wie unverändert bleiben, obwohl im Profil Höhenunterschiede von Hunderten von Metern vorkommen.

Die Temperatur der unterirdisch zusitzenden Wässer braucht nicht nothwendig gleich der Temperatur des umgebenden Gesteines zu sein. Es können Thermen erscheinen, deren Temperatur zwar im voraus unberechenbar ist, deren Existenz aber durch aufmerksame geologische Untersuchung der Oberfläche öfters im voraus nachgewiesen werden kann. Zuerst im Sommer 1876 fand ich z. B. die Temperatur einiger Quellen in der Nähe der Serpentineinlagerungen bei Gige merklich höher als die der benachbarten und schloss daraus, dass „am Schnittpunkt des Tunnels mit den Serpentinstöcken (oder deren Hebungsspalte) heisse Quellen zu fürchten seien (5000—6000 ᵐ vom N.-P.)“ [Geschäftsbericht der Geol.-Mont.-Abth. an die Centralbauleitung pr. Juli 1876, Nr. 433]. Im Jahre 1878 wurden in den erwähnten Serpentineinlagerungen mit dem Tunnel zwischen 5157 und 6297 ᵐ vom N.-P. in der That Quellen angeschnitten, welche mit 25·2° bis 28·4° um 1·2—4·4° jene Temperatur übersteigen, welche der mittleren Höhe des überliegenden Gebirges u. s. w. zukommt (S. den schon erwähnten VII. Geschäftsbericht der Direction).

Abgesehen von Thermen, haben aber die Temperaturbeobachtungen im Gotthardtunnel herausgestellt, dass die Tunnelwässer kälter sind, als das umgebende Gestein, wenn dessen Temperatur 24—25° untersteigt; wärmer im entgegengesetzten Falle; und dass man im allgemeinen die Differenz $\mathfrak{D}$ zwischen Wasser- und Gesteinstemperatur (t) setzen kann: $\mathfrak{D} = 6 \cdot 85 - 0 \cdot 2647\, t - 0 \cdot 000523\, t^2$ (XVI).

Es wurde im ersten Abschnitt dieser Arbeit darauf hingewiesen, welchen grossen Einfluss auf das Befinden und die Leistungsfähigkeit der Arbeiter der Feuchtigkeitszustand der Tunnelluft ausübt. Da derselbe leicht sein Maximum erreicht, wenn zusitzende Wasser wärmer sind als die Umgebung, so ist einzusehen, dass es von praktischem Werth ist, die Wassertemperatur a priori ermitteln zu können (von Thermen abgesehen).

Die Lufttemperatur im Richtstollen des Gotthardtunnels war bis zum Jahre 1877 im Mittel beim Maschinenbohren 1·05° niedriger als die Gesteinstemperatur, beim Schuttern 1·49° höher; überhaupt 0·08° höher. In einzelnen Fällen hat aber die Lufttemperatur die Gesteinstemperatur beim Bohren um fast 4° unterstiegen und beim Schuttern um ebensoviel übersteigen.

Etwa 150^{m} hinter Ort des nicht erweiterten Stollens schwankt (wie schon einmal erwähnt wurde) die Lufttemperatur nur ganz unbedeutend, welche Arbeit auch vor Ort stattfinden mag, und ist fast gleich der Gesteinstemperatur, so dass zahlreiche Beobachtungen derselben zur Ergänzung der immer nur geringen Anzahl directer Gesteinstemperaturbeobachtungen benutzt werden können. Bis zum Jahre 1877 war die Lufttemperatur hinter Ort im Mittel 0·13° höher als die Gesteinstemperatur.

Diese Verhältnisszahlen zwischen Gesteins- und Lufttemperatur haben sich seit 1877 zwar etwas geändert, weil sich einerseits die absoluten Gesteinstemperaturen geändert haben, andererseits Spannung und Menge der während der verschiedenen Arbeitsperioden eingepressten Luft.

Doch werden sie im Folgenden noch beibehalten, weil ich eine gänzliche Umrechnung dieser und anderer Constanten erst vornehmen mag, wenn der Tunnel durchbrochen ist, und alle Beobachtungen zusammenhängend behandelt werden können. Es sei hier in dieser Beziehung nur erwähnt, dass 1878 zu Göschenen die Gesteinstemperatur höher war, als die Lufttemperatur und zwar um 3·1° beim Bohren; 0·2° beim Schuttern; 1·6° überhaupt vor Ort; 0·1° hinter Ort.

Dagegen war in demselben Jahre zu Airolo die Lufttemperatur vor Ort beim Bohren 3·6° niedriger als die Gesteinstemperatur; die Schuttertemperatur 0·6° höher; die Lufttemperatur vor Ort überhaupt 1·5° niedriger; die Lufttemperatur hinter Ort 0·2° niedriger.

In dem erweiterten, aber noch nicht auf Schwellenhöhe abgestrossten Tunnel erhöht sich die Lufttemperatur während Eindringens des Stollens in wärmeres Gebirge allmählich sehr merkbar, so dass sie oft die mittlere vor Ort herrschende erreicht, selbst übersteigt. Deshalb werden alle Erweiterungs-, Mauerungs- und Vollendungsarbeiten in einer höheren Temperatur und zugleich schlechteren Atmosphäre, ausgeführt, als früher die Stollenarbeit an denselben Tunnelpunkten. Es ist leicht zu ermessen, von welcher Tragweite diese Thatsache ist für die Kosten, Bauzeit und den Bauplan eines grossen Hochgebirgtunnels.

Die Thatsache findet ihre natürliche Erklärung darin, dass das die Tunnelröhre umgebende Gebirge eine — praktisch — unerschöpfliche Wärmequelle ist, welche alle von aussen eingepresste Luft bald zur Ge-

steinstemperatur erhitzt, mit welcher sie zurückströmt. Ein wenig wird diese Temperatur noch erhöht durch die Arbeiter, Zugthiere, Grubenlichter, Dynamitexplosionen zwischen dem Stollenort und den rückwärts belegenen Beobachtungspunkten.

Einige Beispiele werden genügen, dies Verhältniss zu erläutern. Im März 1878 war die mittlere Lufttemperatur im Stollen zu Göschenen circa 100^m hinter Ort, zwischen 5202 und 5285^m vom Portal, 26·1°; am 28.—30. Jan. 1879 dagegen, in gleicher Portalentfernung, aber in der Erweiterung, 27·0°. Der Richtstollen befand sich da circa 1200^m weiter einwärts im Gebirge mit 28·0°.

Im April 1878, mittlere Lufttemperatur hinter Ort im Richtstollen, 5285—5407^m vom Portal, 26·8°, dagegen am 30. Jan. bis 22. Febr. 1879, in gleicher Portaldistanz, 27·5°. Der Stollen 1150^m tiefer im Gebirge mit 18·3°. Zu Airolo herrschte im Februar bis Juni 1878 zwischen 4703 und 5075, hinter Ort des Richtstollens die mittlere Lufttemperatur 28·3°; dagegen ebendaselbst, nach Erweiterung des Stollens, vom 27. Nov. 1878 bis 4. März 1879, im Mittel 30·3°. Zur Zeit des letzteren Beobachtung war der Richtstollen 960^m vorwärts getrieben, in Gebirge von 30·0°.

Sobald der Tunnel bis auf Schwellenhöhe voll ausgebrochen ist, ändern sich diese Temperaturverhältnisse völlig. Die unter dem Gewölbe ausziehende Luft erkältet langsam auf ihrem Weg nach der Mündung, der auf der Sohle einziehende Luftstrom wird allmählich von den Tunnelwandungen u. s. w. erwärmt und vereinigt sich mit dem ausströmenden (oberen), sobald beide Ströme ungefähr gleiche Temperatur besitzen. Der Wendepunkt der einziehenden Wetter, bis zu welchem der Einfluss der äusseren Temperatur sehr merklich ist, wechselt seine Lage mit den Jahreszeiten. Zu Airolo liegt derselbe ungefähr 3000^m vom Portal, zu Göschenen 1000^m.

In dem durchgeschlagenen Tunnel treten endlich ganz neue Verhältnisse des Temperatur- und Wetterwechsels ein, deren Erörterung aber nicht hierher gehört.

In den schon citirten „*Studien über die Wärmevertheilung im Gotthard*“ habe ich 1877 nach den oben mitgetheilten 4 Formeln für δ, als Gesteinstemperatur, welche in der Scheitelstrecke des Tunnels zu gewärtigen ist, 32·84° gefunden, mit einer Unsicherheit von $\pm$ 2·55°.

Dieser Rechnung lag ein nach der Dufourkarte in 1:50000 (Horizontalcurven in 30^m Abstand) construirtes Längenprofil zu Grunde, nach welchem die Meereshöhe der höchsten Profilpunkte 2940^m (Aelpetligrat) und 2960^m (Kastelhorngrat) beträgt. Erst im Herbst 1877 beendete ich

die geodätischen Aufnahmen für das Längenprofil des Gotthardtunnels, welches von dem nach der Dufourkarte construirten allerdings wesentlich abweicht.[1] Der Profilpunkt Aelpetligrad z. B. hat 2839·5 m, Kastelhornhorngrat 2861·1 m Meereshöhe.

Die mit Zugrundelegung meines direct eingemessenen Längenprofils berechnete Gesteinstemperatur in der Mittelstrecke des Gotthardtunnels muss demnach von der in den „*Studien*" berechneten merklich abweichen.

Zwischen 7000 m vom N.-P. und 7000 m vom S.-P. (7920 m vom N.-P.) ist die mittlere Terrainhöhe (nach Abstichen von 10 zu 10 m vom Profil in 1:1000) 2757·9 m; die mittlere Meereshöhe des Tunnelscheitels auf dieser Strecke (nach der Nivelette von 1879) 1158·5; daher mittlere Höhe des überliegenden Gebirges: 1590·4 m. Der Terrainhöhe 27·579 und der Entfernung 7460 m vom Nordportal entspricht nach VIII. und IX. die mittlere Lufttemperatur (an Oberfläche) $-5·49^0$ und die Bodentemperatur $-0·02^0$. Es folgt weiter als Gesteinstemperatur im Tunnelscheitel nach: $X^b: 32·63 - 0·02 = 32·61^0$; XII.: $33·08 - 0·02 = 33·06^0$.

Der mittlere kürzeste Abstand vom Tunnelscheitel zur Oberfläche ist für fragliche Strecke (nach Abstichen in 100 zu 100 m Abstand vom Profil in 1:10000): 1467·4 m. Die Fusspunkte der vom Tunnel zur Oberfläche gezogenen Normalen haben ihren Mittelpunkt 2540·3 m über Meer, 7498 m vom Nordportal.

Diesem Punkt entspricht nach VIII. und IX. die Lufttemperatur $+1·09^0$. Wir erhalten daher ferner als Gesteinstemperatur nach

XIII: $29·32 + 1·09 = 30·41^0$, nach XV: $31·69 + 1·09 = 32·78^0$.

Die Gewichte dieser 4 Werthe verhalten sich (a. a. O. S. 55) wie 1:0·27:1·12:0·27, daher folgt als richtigste Mittelzahl der Gesteinstemperatur:

$$\frac{32·61 \times 1 + 33·06 \times 0·27 + 30·41 \times 1·12 + 32·78 \times 0·27}{1 + 0·27 + 1·12 + 0·27} = 31·74^0.$$

Nach dem oben Mitgetheilten haben wir ferner in der Mittelstrecke des Gotthardtunnels zu erwarten:

Lufttemperatur vor Ort beim Bohren im Mittel $31·74 - 1·05 = 30·69^0$; Minimum $31·74 - 4·00 = 27·7$; bei Schuttern im Mittel $31·74 + 1·49 = 33·23^0$; Maximum $31·74 + 4·00 = 35·7^0$. Lufttemperatur circa 150 m hinter Ort: $31·74 + 0·13 = 31·87^0$. Temperatur etwaiger zusitzender Wässer (unmittelbar nach ihrem Anbohren) $31·74 + 2·03 = 33·77^0$.

[1] Diese Abweichungen beruhen wohl hauptsächlich darauf, dass die Horizontalcurven der Karte im unzugänglichen Hochgebirge nach nur wenigen direct eingemessenen Punkten interpolirt sind, und dass diese Curven in der Klippschraffirung der Steilkämme überhaupt nicht mehr zum Vorschein kommen.

Es wurde schon im ersten Kapitel darauf hingewiesen, dass dieser hohe Wärmegrad die Arbeiten in der Mitte des Gotthardtunnels zwar merklich verzögern und vertheuern kann, aber nicht verhindern. Auch ist derselbe nicht lebensgefährlich.

Anwendung.

Unter den vielen Hochgebirgstunnelprojecten der Neuzeit (Maga im Kaukasus; Arlberg in Oesterreich; Mont-Blanc u. A.) steht vielleicht keines seiner Ausführung näher als das des Simplon. Deshalb wähle ich dasselbe um so lieber als Beispiel zur Erläuterung und Application der im vorgehenden ermittelten Sätze, als mir einige Arbeiten über dasselbe vorliegen, nämlich: „*Les avantages du Simplon etc.*“ par E. de Stockalper; Lausanne 1869; „*Structure géologique du Massif du Simplon à propos du tunnel projeté*“ par E. Rennevier; 1878; „*Die Vorarbeiten und das Tracé der Simplonbahn*“, S. P.; nach Vorträgen der HH. Huber und Lommel in der *Societé des Ingénieurs Civils de Paris:* in Eisenbahn-Bd. X, 1879.

Die vorhandenen Projecte legen das Nordportal des Simplon-Tunnels bei Brieg, nahe der Mündung des Saltinethales in das Rhônethal; das Südportal in's Diveriathal, zwischen die Gondogallerie und Iselle. Das Rhônethal ist bei Brieg NE—SW gerichtet, das Saltinethal, normal darauf, SE—NW; das Diveriathal bei Gondo-Iselle SW—NE, d. h. dem Rhônethal parallel, aber gegenfällig. Dadurch, dass das Nordportal des projectirten Tunnels die Saltine aufwärts und das Südportal gleichzeitig die Diveria aufwärts, verschoben wird, entstehen die verschiedenen Projectlinien, welche sämmtlich von Brieg, zwischen WNW—ESE und NNW—SSE nach der Deveria hin ausstrahlten. Die tiefste und längste Linie ist die am meisten ostwärts belegene, bei Iselle in's Diveriathal mündende; die höchste und kürzeste die westlichste, oberhalb Gondo ausmündende. Erstere zieht gleichzeitig unter den höchsten Gipfelpunkten (Wasenhorn, Monte-Leone) der Simplonkette hin, hat also das meiste Gebirge über sich; letztere nähert sich mehr dem Simplonpass und liegt unter flacherer Gebirgsbedeckung.

Die verschiedenen Projecte, von Ost nach West aufgezählt (die Zeitfolge derselben ist fast umgekehrt), sind nun:

1. Favre und Clo:

19850^{m} lang; N.-P. 680^{m}; S.-P. 645^{m} ü. M.

2. Dieselben, modificirt:

19075^{m} lang; N.-P. 680^{m}; S.-P. 687·5^{m}; horiz. Scheitelstrecke 706^{m} u. M.

3. Lommel:

18504^m lang; N.-P. 711^m; S.-P. 687·5^m; horiz. Scheitelstrecke von 250^m; 729^m.

4. Stockalper (Variante eines früheren Projectes Vauthier-Lommel):

16150^m lang; N.-P. 771^m; S.-P. 790^m; Scheitelpunkt 793·5^m üb. M.

5. Clo-Venetz:

12200^m lang; N.-P. 1068^m; S.-P. 1011^m; Scheitelstrecke von 200^m; 1071^m.

6. Jacquemin:

12000^m lang; N.-P. 1070^m; S.-P. 1076^m; Scheitelpunkt 1145^m.

(Die Projecte Flachat, Thouvenot, Lehaître-Mondésir, Fell u. A. setzen Specialsysteme voraus und keine, oder nur kurze, Scheiteltunnel: deshalb kommt bei denselben die uns hier interessirende Frage nicht in Betracht.)

In Prof. Rennevier's oben erwähnter Schrift sind Längenprofile der Tunnellinien No. 2 und 3 in 1 : 25000 mitgetheilt, welche ich den folgenden Bemerkungen zu Grunde lege.

Die Linie No. 2 unterfährt bei Kil. 18·730 das 3270 ^m hohe Wasenhorn, bei Kil. 21·310 den 3565 ^m hohen Monte-Leone. Zwischen diesen beiden Punkten ist die mittlere Terrainhöhe 2925 ^m, die mittlere Schwellenhöhe 707·4 ^m u. M., daher mittlere Höhe des überliegenden Gebirges: 2220·6 ^m. Dieser entspricht eine Wärmezunahme von $2220 \cdot 6 \times 0 \cdot 02068 = 45 \cdot 9^0$. Der geographischen Breite 46° 15′ und der mittleren Meereshöhe 2925 ^m des Terrains zwischen Wasenhorn und Monte-Leone kommt nach Weilemann's Formel[1] die mittlere Lufttemperatur —4·1° zu, und letzterer entspricht nach der früher mitgetheilten Formel IX die mittlere Bodentemperatur (nahe Oberfläche): $-4 \cdot 14 + 4 \cdot 03 + 0 \cdot 2718 - 0 \cdot 00174 \times 4 \cdot 14^2 = +0 \cdot 96$.

Daher ist in der Mittelstrecke der Simplon-Tunnellinie No. 2 einer Gesteinstemperatur $45 \cdot 9 + 11 \cdot 0 = 46 \cdot 9^0$ entgegenzusehen. Weiter folgt:

Temperatur etwaiger zusitzender Wässer (excl. Thermen), nach Formel XVI: $46 \cdot 9 + 6 \cdot 4 = 53 \cdot 3^0$.

Lufttemperatur vor Ort: beim Bohren: $46 \cdot 9 - 1 \cdot 05 = 45 \cdot 85^0$ (Minimum $42 \cdot 9^0$); beim Schuttern: $46 \cdot 9 + 1 \cdot 5 = 48 \cdot 4^0$ (Maximum $50 \cdot 9^0$).

Lufttemperatur hinter Ort: $46 \cdot 9 + 0 \cdot 1 = 47 \cdot 0^0$.

---

[1] *Schweiz. Met. Beobachtungen*, VIII. Jahrgang 1871. In der Formel $T = 9 \cdot 15^0 - 0 \cdot 00577\, \Delta H - 0 \cdot 0217\, \Delta \varphi + 0 \cdot 0000025\, \Delta H \Delta \varphi$ bedeutet T die gesuchte mittlere Jahrestemperatur eines Punktes der Schweiz, ΔH seine Höhenlage gegen Bern (500 ^m u. M), $\Delta \varphi$ seine Breitendifferenz in Minuten gegen Bern (47°). Im vorliegenden Fall haben wir also:

$$T = 9 \cdot 15^0 - 0 \cdot 00577 \times 2425 \times 0 \cdot 0217 \times 45 - 0 \cdot 0000025 \times 2425 \times 45 = -4 \cdot 14^0.$$

Von diesen Daten ist die mittlere Lufttemperatur hinter Ort und jene beim Schuttern vor Ort, also $\frac{47 \cdot 0 + 48 \cdot 4}{2} = 47 \cdot 7^0$ für Beurtheilung der Arbeitsmöglichkeit ausschlaggebend. Nach der von Prof. du Bois-Reymond's (oben S. 83) ausgesprochenen Meinung wäre bei einer solchen Temperatur anhaltende unterirdische Arbeit wohl in ganz trockener Luft möglich, aber nicht in sehr feuchter.

Sowohl die hier berechnete mittlere Lufttemperatur vor Ort beim Bohren (45·9⁰) und Schuttern (48·4⁰), als die mittlere Arbeitstemperatur beim Schuttern (47·7⁰) übertreffen die in Spalte 7 und 12 der Tab. V aufgestellten Grenztemperaturen 45·7⁰ und 37·7⁰, bei welchen unter Göschener und Airoleser atmosphärischen Verhältnissen Tunnelarbeit noch zulässig ist; sie untersteigen aber die Grenztemperaturen 76·9⁰ und 60·3⁰, bei welchen solche noch denkbar ist.

Für die mittlere Lufttemperatur 47·7⁰, bei welcher die Schutterarbeit zu verrichten wäre, ergiebt sich nach den Formeln auf S. 115 als Arbeitsstundenzahl eines Mannes pr. 1 Cubikmeter: $h = 6 \cdot 0245 + 0 \cdot 0826 (46 \cdot 7 - 14 \cdot 58) = 8 \cdot 76$ für Göschener atmosphärische Verhältnisse; und $h = 7 \cdot 094 + 0 \cdot 0972 (47 \cdot 7 - 14 \cdot 58) = 10 \cdot 31$ für Airolo. Die Handarbeit in der Mittelstrecke des Tunnels würde mithin $\frac{8 \cdot 76}{6 \cdot 0245}$, oder auch $\frac{10 \cdot 31}{7 \cdot 094} = 1 \cdot 45$ mal mehr kosten und länger dauern, als wenn dieselbe bei 14·58⁰ ausgeführt würde.

Die Projectlinie No. 3 tritt bei Kil. 17·140 unter den 3090 ᵐ hohen Grat des Wasenhornes und unterfährt weiter südwärts zwei 3190 und 3270 ᵐ hohe Ausläufer des Monte-Leone, den letzteren Ausläufer bei Kil. 20·430. Die mittere Terrainhöhe zwischen Kil. 17·140 und Kil. 20·430 ist 2973 ᵐ, die mittlere Schwellenhöhe 726 ᵐ; daher Höhe des über Tunnel liegenden Gebirges 2247 ᵐ. Dieser entspricht eine Wärmezunahme von 46·5⁰. Da nun unter 46⁰ 15′ nördlicher Breite in 2973 ᵐ ü. M. nach den oben mitgetheilten Formeln die mittlere Lufttemperatur —4·4⁰ und die Bodentemperatur +0·8⁰ beträgt, so ist in der Mittelstrecke der Tunnellinie No. 3 eine Gesteinstemperatur von $46 \cdot 5 + 0 \cdot 8 = 47 \cdot 3^0$ zu erwarten. Diese weicht so wenig von der für die Linie No. 2 berechneten ab, dass alles, was oben über die Unausführbarkeit der letzteren gesagt ist, auch von No. 3 gilt.

Von den übrigen verzeichneten Projectlinien habe ich keine Längenprofile. Nach den Höhen der Gipfelpunkte in den verschiedenen Profilebenen zu schliessen, dürfte aber das Terrain über der Mittelstrecke von No. 4 etwa 330 ᵐ tiefer liegen, als jenes über No. 2, und da die mittlere Bahnhöhe nach No. 4 gleichzeitig circa 89 ᵐ höher als No. 2 liegt, so

würde die Gebirgsdecke über der Mittelstrecke der Tunnellinie No. 4 nur circa 1800 m betragen, woraus eine Gesteinstemperatur von etwa $37 \cdot 3 + 2 \cdot 4 = 39 \cdot 7^0$ folgt Diese würde die Projectlinie Stockalper wenigstens an die äusserste Grenze der Ausführbarkeit rücken.

Ganz anders verhält es sich mit den Linien No. 5 und 6, welche in (rund) 1100 m culminiren und noch weniger Gebirgsmasse über sich haben als No. 4. Die Temperaturverhältnisse in denselben dürften jenen des Gotthard-Tunnels nahe kommen und der Ausführung keine unüberwindbare Hindernisse in den Weg legen. Gleichzeitig bieten diese zwei Linien den nicht hoch genug anzuschlagenden Vortheil, dass sie oberhalb der Glanzschieferregion Berg fassen und dadurch allen jenen Schwierigkeiten ausweichen, welche an dies Terrain geknüpft sind.

Aber mit der Wahl eines dieser hohen Tunnellinien (für welche vielleicht noch vortheilhaftere substituirt werden könnten), wird sofort die Grenzlinie zwischen dem Verkehrsgebiet der Gotthard-Bahn und der Simplon-Bahn, welche Hr. Stockalper durch Basel zieht, bedeutend nach SW verschoben, denn mit Recht sagt Hr. Stockalper (a. a. O. S. 65):

„L'immense champ de trafic reservé au Simplon, comprenant la France, l'Angleterre, la Belgique, la moitié de la Suisse, est la conséquence du percement *à la base* de la montagne.“

Durch Vorstehendes glaube ich einen nützlichen Beitrag zur Lösung der Frage geliefert zu haben, bei welcher Temperatur und Gebirgshöhe Tunnelbau oder Bergbau im Allgemeinen, mit den jetzigen technischen Hülfsmitteln, physisch unmöglich wird. Ich habe mir nicht vorgenommen, Mittel und Wege ausfindig zu machen, durch welche unterirdische Arbeiten auch bei noch höheren Temperaturen ermöglicht werden, d. h. durch welche die in unterirdischen Räumen einmal gegebenen Temperaturen wesentlich herabgedrückt werden könnten. Das Studium der letzteren Frage fällt jenen anheim, welche eine solche Aufgabe zu lösen haben; und bevor solche Studien gründlich, theoretisch und praktisch, durchgeführt sind, dürfte keine Staatsbehörde ein derartiges kühnes Unternehmen genehmigen, kein Finanzmann sich an seiner Ausführung betheiligen wollen.

Im Verlaufe der Untersuchungen für meine anfangs praecisirte Aufgabe habe ich jedoch manche Wahrnehmungen gemacht und von competenter Seite manche Vorschläge gehört, welche die zweite Frage berühren, und deren Zusammenstellung wenigstens Ausgangspunkte für die erwähnten Studien bieten kann; eine Lösung derselben verspreche ich nicht.

Nehmen wir die Höhenlage eines Scheiteltunnels als durch den commerciellen oder politischen Zweck der Bahn bestimmt an, so bleibt zunächst immer noch zu erörtern, inwiefern durch seitliche Verschiebung der Tunnelaxe nicht ein Terrain gewonnen werden kann, welches wegen günstigerer topographischer und geologischer Beschaffenheit die Ausführbarkeit des Tunnels erleichtert, bez. ermöglicht. Wie ich in einem (eingeforderten) Bericht an die Centralbauleitung der Gotthard-Bahn (No. 478, 6. Nov. 1877) zu beweisen gesucht habe, wäre z. B. der Bau des Gotthard-Tunnels in vieler Beziehung erleichtert worden, wenn man die Tunnellinie 2—$2^1/_2$ Kilometer westwärts verschoben hätte. Auf der Südseite hätte sich dann der Tunnel nur 2500 ^{m} (gegen nun 3900 ^{m}) in den faulen Glimmerschiefer u. s. w. -Schichten bewegt, welche so viel Wasser brachten; er würde im Gotthardmassiv circa 7000 ^{m} festen Gneiss und Gneissgranit durchfahren haben, anstatt eines 6600 ^{m} mächtigen, vielfach zerstörten, Schichtencomplexes von dünnschieferigem scherbigem Gneiss und Glimmergneiss[1]; im Ursernthal hätte man nicht mit den bösen Verwerfungsspalten des Köhlertgrabens (2800 ^{m} vom N.-P.) zu thun gehabt; in der Mittelstrecke wäre man unter etwa 500 ^{m} niedrigeres Terrain gekommen, wodurch die Tunneltemperatur gegen 7^0 niedriger geworden wäre u. s. f."

Schwieriger als die Temperaturzunahme aus der Gebirgshöhe lässt sich a priori der Wasserzufluss und die Gesundheit des Gesteines im Inneren, nach dem äusseren Gebirgsbau, ermessen. Glücklicherweise aber hat man seit einigen Jahrtausenden Bergbau getrieben und die Bergleute haben seit 3—400 Jahren ihre Beobachtungen über den Zusammenhang gewisser innerer und äusserer Erscheinungen in den Gebirgen genau aufgezeichnet. Trotz entgegengesetzten Behauptungen mancher moderner Geologen lehrt uns die bergmännische Erfahrung, dass sowohl Erzgänge (d. h. gefüllte Spalten) als Verwerfungsspalten so tief in das Erdinnere hinabreichen, als der Bergbau einzudringen vermochte; dass zerspaltene und zerrissene Gebirgsstreifen durch Erosion an der Oberfläche leichter zu Runsen, Schluchten, Thalmulden ausgehöhlt werden, als benachbarte, nicht zerklüftete Gebirgsstreifen, um so mehr, als die durch Spaltensysteme circulirenden Gewässer oft das Nebengestein zersetzt haben. Treffen wir deshalb die Oberfläche anstehenden Gesteines von ausgedehnten Einmuldungen u. dgl. durchfurcht, welche Hebungs-, Verwerfungs-, Bruch- (gewissen Antiklinal- und Synklinal-) Linien folgen, und an deren Wänden und Boden das Gestein zerrüttet oder zersetzt ist, so haben wir immer guten Grund vorauszusetzen, dass auch unter solchen Einmul-

[1] Wo „immer und immer wieder neue zersetzte Schichten und Wasserflüsse drohen".

dungen das Gebirge zerrüttet und zersetzt ist, oft zu Tiefen, welche niemals ein Mensch erreichen wird. Und documentiren sich solche Einmuldungen an der Oberfläche zugleich als Quellgebiete, so sind wir berechtigt zu vermuthen, dass die zerrütteten Gebirgsstreifen (oder ihre nächste Umgebung) zu jeder erreichbaren Tiefe hinab Wasser führen. Dies sind keine neuen Theorien, sondern, wie gesagt, so alte Erfahrungssätze, dass es unbegreiflich scheint, wie völlig Tunnelingenieure dieselben ignoriren können. Auf den Aufnahmeblättern (in 1 : 1000) für das Längenprofil des Gotthardtunnels, welche auf der Pariser Ausstellung waren, sind gar viele solcher „Quellgebiete“, „Bruchlinien“, „Verwerfungsspalten“, „Antiklinalen“, „Synklinalen“ eingetragen, welche nie verfehlt haben, im Tunnel sich bemerklich zu machen (meist sehr ungelegen).

Nur ein Beispiel aus der neuesten Zeit sei hier als Beleg angeführt: Nach dem (1875) umgeänderten Längenprofil des Gotthardtunnels sollte die 390 ^{m} lange horizontale Scheitelstrecke zwischen 5705 und 6095 ^{m} vom Südportal liegen, der Tunnel sodann nordwärts auf 1250 ^{m} Länge 1 $^{0}/_{0}$ fallen. Im geologischen *Monatsbericht* pr. Januar 1879, Südseite (No. 42/79) schrieb ich der Centralbauleitung: „Da nach dem Auffahren der ersten zersetzten nassen Schichten des Guspisthales (5783; 5907) wohl nicht mehr daran gezweifelt werden darf, dass auch die übrigen drei im Guspisthal bekannten Bruchlinien (siehe Profil in 1 : 1000) im Tunnel durch zerrissene, zersetzte, wasserführende Zonen sich bemerklich machen werden, welche den Tunnelbau in söhliger, von 6095 ^{m} an sogar gegenfälliger, Strecke in hohem Grade erschweren müssen, so halte ich es für meine Pflicht, hierdurch nicht nur nochmals auf diese drohenden Schwierigkeiten hinzuweisen, sondern zu thunlichster Abhülfe derselben gleichzeitig auch schleunige Aenderung des Tunnelprofiles in Vorschlag zu bringen.“ Im März wurde das Längenprofil dahin abgeändert, dass bis 7093·7 ^{m} vom Südportal die Steigung von 0·5 $^{0}/_{0}$ bleibt, welcher sodann bis Göschenen das Gefälle 5·82 $^{0}/_{0}$ folgt; — und dass diese Aenderung eine glückliche und rechtzeitige war, documentiren die nachmals bei 5961—80; 6100; 6217; 6270; 6528 ^{m} durchfahrenen lettigen Verwerfungsspalten mit zerrüttetem Nebengestein, und die Wasserzuflüsse bei 5933—67; 75—80; 6100—5; 6215—20; 6357—6410 (zwischen den letzten Punkten stark, aber mit Unterbrechungen).

Ich habe diesen Gegenstand etwas eingehend behandelt, theils weil im ersten Abschnitt gezeigt worden ist, welchen eminenten Einfluss die (durch Wasserzuflüsse veranlasste) Feuchtigkeit der Luft auf die Möglichkeit der Arbeit bei höheren Temperaturgraden ausübt, theils weil ich zu beweisen wünschte, dass es sicherer und leichter ist, auf Grund sorgfältiger technisch-geologischer Vorstudien bei der Tracirung von Tunneln

Schwierigkeiten zu vermeiden, als solche nachmals bei der Bauausführung zu überwinden. Mit Vergnügen habe ich aus einem Situationsplan der Arlbergtunnelprojecte ersehen, dass man daselbst mit einer mehrfach gebogenen Linie (vermuthlich) wasserführenden Gesteinsschichten auszuweichen sucht.

Das Gesagte lässt sich dahin resumiren, dass bei Tracirung von Hochgebirgs-Tunneln grosse Gebirgsmassen möglichst zu umgehen sind, damit man nicht in zu warmem Gestein zu arbeiten braucht; und dass gleichzeitig Quellschichten u. s. w. zu vermeiden sind, damit die Tunnelluft durch Wasserzuflüsse nicht überfeucht wird (anderer durch Wasserzufluss veranlasster Störungen gar nicht zu gedenken).

Ein weiter hier in Betracht kommender Punkt ist der Tunnel-Bauplan. Die beim Gotthard-Tunnelbau gemachten Erfahrungen haben mich nicht überzeugen können, dass für lange nur von zwei Angriffspunkten aus betriebene Tunnels, deren Bauzeit fixirt ist und deren Bauschwierigkeiten unmöglich alle im Voraus übersehen werden können, das sogenannte belgische System das rationellste ist. Hinsichtlich der uns hier speciell interessirenden Frage aber scheint es geradezu verwerflich. Im Gotthardtunnel bringt Anwendung desselben mit sich, dass die Arbeitsräume auf einer Strecke von 2—3 Kilometern vertheilt sind, denn man vermag weder mit einfachen noch mit mehrfachen (nur durch Pumpwerke ermöglichten) Sohlenschlitzen dem Fortschritte des Firststollens aequidistant zu folgen, und muss deshalb auch mit allen ferneren Ausbruch- und Mauerarbeiten weit zurückbleiben. Wir haben aber im zweiten Abschnitt gesehen, dass die Temperatur in den rückwärts liegenden Arbeitsräumen (sofern sie nicht vom Portal aus natürlich ventilirt werden) während des Eindringens des Stollens in wärmeres Gebirge sich erhöht, mitunter sogar über die vor Ort herrschende. Wenn ich mir auch die Möglichkeit vorstellen kann, durch künstliche Mittel auf etwa 100^{m} hinter Ort die Lufttemperatur im Stollen so herabzusetzen, dass bei einer Gesteinstemperatur von $40—50^{0}$ noch gearbeitet werden kann, so vermag ich nicht abzusehen, wie dies auf einer mit Rauch und Menschen gefüllten Strecke von 2—3 Kilometern noch praktisch ausführbar ist.

Das einzuschlagende Bausystem muss ferner gestatten, dass die zusitzenden Wässer nicht während der ganzen Bauzeit in verschiedenen Abbausohlen stagnirende Schmutzpfützen bilden, wie das beim belgischen System erst im Firststollen, dann in dessen Erweiterung, ferner in den Calottenschlitzen, endlich in den Cunetten und dem voll ausgebrochenen Tunnel der Fall ist, bis schliesslich der Abzugskanal fertig wird. Treibt man Sohlenstollen und legt in denselben möglichst rasch den Abzugs-

kanal, so lassen sich alle zusitzenden Wässer leicht und in geschlossenem Strome mit kleiner Oberfläche abführen; selbst grössere fliessende Wassermassen machen aber dann die Luft nicht so feucht als kleine, welche von grossen Flächen, Schmutzhaufen u. dergl., verdunsten. Man vergesse nicht, dass in ganz trockener Luft eine 10° höhere Temperatur ertragen werden kann, als in ganz feuchter!

Die Schwierigkeiten, welche guter Ventilation in den Aufbrüchen eines mit Sohlenstollen betriebenen Tunnels entgegenstehen, unterschätze ich gar nicht. Doch scheint mir, als ob die Tunnelbau-Ingenieure noch gar wenig studirt hätten, was man bei Bergbau mit systematischer Ventilation meint, und wie man dieselbe ausführt. Planlos hingestellte Aspiratoren oder Ventilatoren, oder hier und da geöffnete Hähne der Druckluftleitung sind Palliative, aber gewiss keine Ventilationssysteme. Beim Tunnelbau macht Ausarbeitung und Einführung eines solchen in gewisser Beziehung grössere Schwierigkeiten als beim Bergbau, weil bei ersterem alle Arbeitsräume viel rascher ihre Lage ändern, weshalb die permanenten Einrichtungen (Wetterscheider, Wetterthüren, Lutten, ganze Tragwerke u. s. w.) auch wandelbarer werden. Handelt es sich aber um Tunnels mit zehnjähriger oder längerer Bauzeit, so muss auch die Ventilation in ein verständiges System gebracht werden, während bei kleinen Tunnels für das Bedürfniss des Tages bestimmte Nothbehelfeinrichtungen oft ausreichen. Beim Bergbau hat die schwierigere Ventilation von Firstbauten deren allgemeiner Einführung lange entgegengestanden, — aber dennoch hat der Firstenbau gegenwärtig in fast allen gut bewirthschafteten Gangbergwerken den ehemaligen Strossenbau verdrängt; es lässt sich voraussehen, dass ebenso bei allen grossen und schwierigen Tunnelbauten der Sohlenstollenbetrieb den Firststollenbetrieb allmählich verdrängen wird.

Die Ausführung eines heissen Hochgebirgstunnels würde dadurch sehr erleichtert werden, dass man den Tunnel beiderseitig so weit hinein fertig stellt, als die Wärme ohne grosse Schwierigkeiten zulässt, d. h. bis dieselbe etwa 30° erreicht. Die fertigen Tunnelstücke lassen sich dann mit Leichtigkeit ständig und kräftig ventiliren, so dass sie selbst hinten gesunde und verhältnissmässig frische Aufenthaltsorte gewähren. Von diesen, als Ausgangspunkten, wäre der Sohlenstollen durchzubrechen, zunächst ohne irgendwelche Erweiterungsarbeiten. Die eigentliche Schwierigkeit wäre damit auf Kühlhaltung einer Strecke von etwa 100^{m} reducirt. Nach vollendetem Durchschlag lässt sich die ganze noch zu vollendende Tunnelstrecke sicher, leicht und vollkommen ventiliren und (durch den das ganze Tunnelprofil einnehmenden Luftstrom, beson-

ders im Winter) kühl halten, so dass der Ausbau nicht besonders schwierig erscheint.

Drittens wäre in dem Richtstollen der Mittelstrecke die Muskelarbeit von Menschen und Zugthieren in möglichst ausgedehntem Maasse durch Maschinenarbeit zu ersetzen. Wie die anstrengendste Stollenarbeit, nämlich das Schuttern, maschinell erfolgen könnte, ist mir noch ganz unklar. Der Transport zu dem bereits fertigen Tunnelstück dürfte am zweckmässigsten durch Drahtseilförderung erfolgen, wie man solche seit Jahrzehnten unter viel schwierigeren Verhältnissen in Steinkohlengruben ungestört betreibt (z. B. in den Burbacher Gruben bei Saarbrücken). Luftlocomotiven scheinen mir in diesem Falle weniger angezeigt, weil sie einen grösseren Stollenquerschnitt voraussetzen, welcher die Handarbeit vermehren und die Kühlhaltung des Stollens erschweren würde.

Die vierte zu studirende Aufgabe: Künstliche Abkühlung des Stollens, ist von allen wohl die schwierigste. Man glaube ja nicht, dass dieselbe durch das Stichwort „vergrösserte Luftcompressionsanlagen“ ihre Lösung gefunden hat. Die Wärmemenge, welche die umgebende Gebirgsmasse an die Luft im Stollen ununterbrochen abgiebt, ist praktisch unbegrenzt; im Vergleich zu derselben sind alle künstlichen Abkühlungsmittel so minim, dass sie nur in ihrer nächsten Umgebung die Temperatur ein wenig herabsetzen können, ohne irgend welche dauernde oder umfassende Wirkung auszuüben. Sie verhalten sich „wie ein Wassertropfen auf einem heissen Stein“. Diese Thatsache wird durch das im zweiten Abschnitt erörterte Verhältniss der Lufttemperatur hinter Ort des Richtstollens (im Gotthardtunnel) erwiesen: mögen vor Ort alle Lufthähne geschlossen oder geöffnet sein, etwa 100—200^{m} rückwärts bleibt die Lufttemperatur fast constant und der Gesteinstemperatur wesentlich gleich. Ein weiterer Beleg ist die in den rückwärts liegenden Arbeitsräumen allmählich wachsende Temperatur; alle vor Ort eingeführte Luft nimmt sofort die Temperatur des Gesteines am Ausströmungspunkte an und behält dieselbe auch bei, da die Wärmeabgabe an kältere Gesteinsflächen durch jene gesammte Wärmemenge compensirt wird, welche auf einer Strecke von Kilometern sämmtliche Arbeiter, Zugthiere, Lichter, Dynamitexplosionen erzeugen.

Es wurde früher erwähnt, dass die aus den Bohrmaschinen (etwa vier gleichzeitig in Arbeit) tretende Luft, welche mit $2^1/_2$—4 Atmosph. Druck einströmt, die Lufttemperatur höchstens um 4^{0}, im Mittel aber nur 1^{0} unter die Gesteinstemperatur herabzusetzen vermag, und dass beim Schuttern, in Folge der in einem kleinen Raume entwickelten animalen Wärme und der Dynamitexplosionen, die Lufttemperatur, trotz reichlich ausströmender comprimirter Luft, die Gesteinstemperatur um 4^{0} über-

Tabelle IX. Durch volle Ventilation des menschenleeren Stollens erzielte Lufttemperatur.

	Beobachtungszeit.	Beobachtungspunkt. Meter vom Portal.	Gesteinstemperatur.	Lufttemperatur.			Differenz zwischen Gesteins- und Lufttemperatur.			Anmerkungen.
				Minimum.	Maximum.	Mittel.	Maximum.	Minimum.	Mittel.	
Göschenen.	October 1875.	2577—2704	22·4*	—	—	19·1	—	—	3·3	* 13.—15. August 1877 bei 2678 : 21·8⁰.
	13. Juni 1876.	3234	19·4	16·4	—	—	3·0	—	—	
	10.—13. Sept. 1876.	3560	19·5	14·8	15·1	15·0	4·7	4·4	4·5	
	13.—16. Aug. 1877.	4623	23·0	19·4	22·2	20·8	3·6	0·8	2.2	
	13.—15. Mai 1878.	5456	26·6	15·3	19·1	17.2	11.3	7·5	9·4	
	16.—18. Dec. 1878.	6297	28·8	19·9	25·8	22·9	8·9	3·0	5·9	
					Im Mittel:		6·3	3·9	5·1	
Airolo.	23.—25. Oct. 1875.	2391	23·5	18·9	—	—	4·6	—	—	
	1.—3. Sept. 1876.	3183	24·9	—	—	23·3	—	—	1·6	
	20.—29. März 1877.	3869	27·4*	25·5	26·9	26·2	1·9	0·5	1·2	* 21.—23. März.
	8.—11. Sept. 1877.	4371	28·6*	22·3	25·5	23.9	6·3	3·1	4·7	* In einem nassen Loch; ein zweiter verunglückter Versuch gab 27·8⁰.
	7.—11. Juli 1878.	5101	28·7	25·7	26·7	26·1	3·0	2·0	2·6	
	10. Mai — 7. Juli 79.	6209	29·8	26·6*	28·5*	27·6*	3·2	1·3	2·2	* 10.—12. Mai.
					Im Mittel:		3·8	1·7	2·5	

steigen kann, im Mittel aber um 1,5° übersteigt. Um zu ermitteln, welche grösste Abkühlung die vor Ort einströmende Luft im günstigsten Falle hervorbringn kann, habe ich bei Absteckungen, da der Richtstollen menschenleer und der Hahn vor Ort geöffnet war, im Stollenort tagelang Minimum- und Maximum-Thermometer niedergelegt und dieselben zeitweilig beobachtet. Die Luft strömte unter $2^1/_2$—4 Atmosph. Druck aus den 5—10 cm weiten Endstücken der Röhrentour, bei verschiedenen Hahnstellungen. (Siehe Tab. IX.

Die vorstehenden Ziffern können in der That keine sanguinischen Hoffnungen wecken, dass es leicht sei, durch eingepresste Luft in Gebirge mit etwa 47° ein Stollenort während der Arbeit auf etwa 35° abzukühlen. Die Wärmecapacität der Luft ist so gering, dass eingepresste Luft sofort die Temperatur des umgebenden Gesteines annimmt, ohne letzteres merklich abzukühlen. Aber dennoch scheint diese Aufgabe ohne copiöse Einführung hochgespannter trockener Luft nicht befriedigend zu lösen zu sein; deshalb müssten zunächst auch in dieser Richtung gründliche Studien durchgeführt werden.

Das Einführen grosser Massen hochgespannter Luft in einen Stollen, wo nur vor Ort gearbeitet wird, bietet keine eigentlichen Schwierigkeiten; grössere schon die Art und Weise der Luftausströmung in den beschränkten Arbeitsraum. Vor der Mündung eines 10 cm weiten Luftrohres kann man in 5 m Entfernung keine Arbeit verrichten: die Schutter legen deshalb häufig einen Korb vor die Mündung, um den Luftstrom zu brechen und zu vertheilen.

Von der Einspritzung kalten Wassers in das Stollenort verspreche ich mir gar keine gute Wirkung. Am 18. Febr. 1879 war die Luftleitung zu Göschenen in einer Wasserpfütze gebrochen. Nach der Reparatur trat mit der Luft eine Menge Wasser von 24,5° in die Bohrmaschinen vor Ort, welches dichten Nebel veranlasste, aber die Lufttemperatur von 26·8° nicht herabsetzte. Bei früheren Gelegenheiten habe ich allerdings beobachtet, dass die Lufttemperatur in dem geräumten Stollenort um 3° abnahm, als der schief über eine Wasserpfütze geleitete Luftstrom Wasserstaub aufwirbelte. Die vorher klare und verhältnissmässig trockene Luft wurde aber dabei sofort nebelig. Ich bin der Meinung, dass Wassereinspritzungen (zur Abkühlung) nicht nur zu vermeiden sind, sondern dass im Gegentheil alle eingepresste Luft vorher möglichst zu trocknen ist, damit sie einen Theil Feuchtigkeit aus der Tunnelluft absorbiren kann, wodurch auch höhere Temperaturen erträglicher werden.

Die Luft vor ihrem Eintritt in den Tunnel künstlich abzukühlen, scheint mir zwecklos; denn theils wirkt sie am Austrittspunkt viel

weniger erkältend durch etwaige niedere Temperatur, als vielmehr durch ihre plötzliche Ausdehnung; theils nimmt sie auf ihrem langen Wege zum Stollen allmählich die Temperatur der Umgebung an, mag sie mit Winter- oder Sommertemperatur in den Tunnel treten. Herr Stockalper fand:

In der Leitung bei . .	800 m	3500 m	4965 m	5800 m v. N.-P.
Lufttemperatur	16·3°	23·35°	27·3°	27·3°
Temp. der umgeb. Luft .	19·5°	26·25°	29·5°[1]	30.0°[5]
Differenz bei der Temp. .	3·2°	2·9°	2·2°	2·7°
Durchmesser der Röhren.	20cm	15cm	10cm	

Sobald comprimirte Luft als eines der Abkühlungsmittel des Stollens adoptirt wird, ist auf Luftcompressionsanlagen Bedacht zu nehmen, welche jene des Mont-Cenis und Gotthard an Umfang und Leistungsfähigkeit vielfach übertreffen müssn. Als neue Aufgabe hinzu kommt die Einrichtung von Lufttrockenapparaten. Ganz zweckmüssig in dieser Hinsicht sind die am Mont-Cenis und Gotthard verwendeten Luftreservoirs; culturfähig scheinen auch die sogenannten *Sêcheurs* des Gotthard, welche jedoch nach Zahl und Umfang bedeutend vergrössert werden müssten, um recht nützlich zu sein. Zur völligen Austrocknung der erst in Reservoirs, dann in Sêcheurs von Wasserdunst möglichst befreiten Luft könnte man nach Hrn. du Bois-Reymond's Vorschlag gebrannten Kalk verwenden. Es scheint leichter ausführbar, die Luft vor dem Tunnel durch Kalk zu führen und so weit zu trocknen, dass sie beim Ausströmen vor Ort Feuchtigkeit zu absorbiren vermag, als diese Absorption durch in den Tunnel gefahrenen Kalk an Ort und Stelle direct zu bewerkstelligen zu suchen. Vielleicht wird es nöthig, die durch Kalk getrocknete Luft noch durch Diaphragmen oder Trockenfilter von mitgerissenem Kalkstaub zu befreien.

Dass selbst gegenwärtig die unvollkommen getrocknete comprimirte Luft bei der im Tunnel herrschenden hohen Temperatur relativ trocken ist, geht aus den S. 89 mitgetheilten Feuchtigkeitsbeobachtungen hervor, nach welchen zu Airolo beim Bohren vor Ort die relative Feuchtigkeit nur 86·8 und 98·0 % betrug, während sie überall rückwärts im Tunnel 100 % überstieg.

---

[1] Diese 2 Ziffern sind wohl zu hoch. Zwisshen 5310 und 6625 habe im Verlaufe dieses Jahres viele Lufttemperaturbeobachtungen angestellt, welche 27·9 bis 28·45°, im Mittel 28·0° für 5924m ergaben. Durch Einführung dieses Werthes (anstatt 30·0°) wird die Differenzenreihe viel gleichförmiger als obenstehende.

Die trocknende Wirkung eingepresster Luft ist übrigens ebenso local, als ihre abkühlende Wirkung. Der totale Feuchtigkeitszustand der Tunnelluft hängt ganz überwiegend von den zusitzenden Wässern ab und wird von eingeführter Luft, Respiration und Transpiration der Leute, Dynamitexplosionen u. s. w. im Ganzen nur wenig beeinflusst. Dies zeigen folgende Feuchtigkeitsbeobachtungen, zu Airolo angestellt, als der Tunnel am 13. Mai 1879 zu geodätischen Zwecken geräumt und möglichst vollkommen ventilirt war.

Bureau. 666·4 mm auf 0° reducirter mittlerer Barometerstand; mittlerer Dunstdruck 4·75 mm; relative Feuchtigkeit 68 %; bei 4·75°.

				Feuchtigkeit absolute	Feuchtigkeit relative
Tunnel.	2270 m v. P.;	Lufttemp.	21·6°;	19·2 mm;	100 %
	3370 m	„	27·8°	27·8 mm	> 100 %
	4600 m	„	29·5°	30·5 mm	> 100 %
	5467 m	„	29·3°	30·4 mm	> 100 %
	5900 m	„	29·3°	30·3 mm	> 100 %
Mittelwerthe:		„	27·5°	27·65 mm	> 100 %.

Hiergegen ergaben die am 28. März während voller Arbeit zwischen 2170 und 5900 m angestellten Beobachtungen (S. 89) eine mittlere Lufttemperatur 27·4°; mittlere absolute Feuchtigkeit 27·75 mm; relative > 100 %.

Es ist auch vorgeschlagen worden, den Tunnelstollen durch feste kalte Substanzen abzukühlen. Moëllons, welche im Winter mit — 15° à — 10° in ganzen Waggonladungen in den Tunnel geführt wurden, und an den Mauerstellen noch mit Schnee bedeckt ankamen, brachten aber nur in ihrer unmittelbaren Nähe eine merkliche Abkühlung hervor, welche circa 5 m tunneleinwärts und 15 m tunnelauswärts vom beladenen Waggon nicht mehr constatirt werden konnte. Deshalb scheint dies Abkühlungsmittel nicht empfehlenswerth, um so weniger, als die festen Materialien im Stollen den so nöthigen Platz versperren und die regelmässige Förderung stören.

Ganz anders verhält es sich mit der von Hrn. du Bois-Reymond vorgeschlagenen Kältemischung aus Eis und Salz. Mit den vor der Schutterung in den Stollen geschobenen Waggons liesse sich dieselbe leicht einführen und auf der der Ladeseite entgegengesetzten Seite des Zuges abstürzen. Während des Schutterns und Ladens der Waggons wirkte dann die Kältewirkung die ganze Arbeitslinie entlang und entfernte sich, nach geleisteter Wirkung, ohne weiteren Arbeitsaufwand mit den Stollenwässern. Dass eine Salzlösung die Luft weniger feucht macht

als reines Wasser, hat Hr. du Bois-Reymond gleichfalls schon hervorgehoben.

Fünftens, und zum Schluss, wollen wir einige Momente betrachten, welche das Arbeitspersonal, seine Verpflegung und die Arbeitszeit betreffen.

Die in einem warmen Klima aufgewachsenen Italiener, welche Grubenarbeiten mit einer gewissen Vorliebe, Geschick und Ausdauer verrichten, liefern für europäische Tunnelarbeiten einen ebenso werthvollen Arbeiterstock, als mexikanische und südamerikanische Indianer für amerikanische. Bei Negern habe ich weder Vorliebe noch besonderes Geschick für Grubenarbeiten wahrnehmen können. Dass der Volksschlag, aus welchem die Tunnelarbeiter rekrutirt werden, bei dieser Frage allerdings eine Rolle spielt, beweist z. B. die Verwendung von Eingeborenen als Heizer auf Kriegsschiffen, welche das Rothe Meer befahren (S. 79).

Bei einem langwierigen Tunnelbau, welcher während seines Fortschrittes in wärmeres und wärmeres Terrain führt, sollte man die anfangs angeworbenen Arbeiter für die ganze Bauzeit beizubehalten suchen, so dass sich ihr Organismus allmählich den ungünstigen Verhältnissen accommodirt, unter welchen die Arbeit stattfindet.

Hinsichtlich der zweckmässigsten täglichen Arbeitszeit habe ich noch keine feste Ueberzeugung gewonnen. Die im ersten Abschnitt mitgetheilten Gutachten von Physiologen und Aerzten heben kurze Aufenthaltszeit als Bedingung für die Möglichkeit der Arbeit bei hohen Temperaturgraden hervor; und dies ist ohne Zweifel richtig, sobald es sich um Temperaturen handelt, für welche der menschliche Organismus überhaupt nicht geschaffen ist, bei welchen also regelmässige Tunnelarbeit ausgeschlossen ist, bis Mittel gefunden sind, die hohen Temperaturen wirksam und sicher zu mässigen. Ist dies Ziel erreicht, so befinden wir uns ungefähr unter denselben Verhältnissen, welche gegenwärtig im Gotthardtunnel herrschen. Unter solchen scheint mir aber eine 8- (bez. 12—14)-stündige Aufenthaltszeit nicht nur aus ökonomischen, sondern auch aus hygienischen Gründen gerechtfertigt. — Ich brauche gegenwärtig wenigstens zwei Stunden, um an meinen Arbeitsplatz im Richtstollen des Tunnels zu kommen, und ebensoviel Zeit zur Rückkehr. In den ersten Stunden nach der Ankunft fühle ich mich meist so unbehaglich und erschöpft, dass ich nicht anhaltend arbeiten kann. Später legt sich dies Unbehagen und ich kann 2—3 Stunden ohne besondere Ermüdung schaffen. Es ist also etwa 7—9stündiger Aufenthalt im Tunnel nöthig, wenn man daselbst etwas ausrichten, und sich nicht nur den Unbehaglichkeiten des Tunnels aussetzen will. Nach mehreren solchen aufeinanderfolgenden „Tunneltagen“ treten allerdings Erschöpfungs- und

Erkrankungsfälle ein, welche vielleicht ebenso verderblich sind, als der Tunnelaufenthalt an und für sich.

Möglichst völlige Entkleidung während der Tunnelarbeit befördert das Wohlbefinden sehr wesentlich, wie ich mich in neuerer Zeit durch Versuche an mir selbst überzeugt habe. Dies gilt wenigstens, so lange die Lufttemperatur die Körpertemperatur noch untersteigt, so lange also Bekleidung eine Abkühlung des Körpers durch Strahlung und Leitung verzögert. Es ist wohl möglich, dass die an mir angestellten Temperaturbeobachtungen (erster Abschnitt) andere Resultate ergeben hätten, wenn ich während derselben nackt gewesen wäre. Eine ganz entgegengesetzte Wirkung könnte aber Bekleidung hervorbringen, wenn die Lufttemperatur die Körpertemperatur übersteigt, nämlich Verzögerung der Wärmeübertragung von der Luft auf den Körper. Warum arbeiten die mexikanischen Halbindianer in doppelten Filzhüten und dicken Kleidern vor den schottischen Bleiherden, und warum tragen manche Araberstämme auch im Sommer Schafpelze, wenn nicht, um die äussere (strahlende) Wärme vom Körper abzuhalten?

Die Arbeit in einem Tunnelstollen, welche nur durch künstliche Abkühlung desselben ermöglicht werden kann, setzt nahe hinter der Arbeitsstelle Räume mit solchen atmosphärischen und Temperaturverhältnissen voraus, dass sie eine Restauration erschöpfter Arbeiter gestatten. Solche Räume lassen sich am Anfange des Stollens etabliren, bis wohin nach unserer Meinung der Tunnel fertig sein sollte, ehe die eigentlich kritische Stollenarbeit beginnt. Hier könnte man gut ventilirte, gehörig abgekühlte, nach Befinden mit mässig comprimirter (trockener) Luft gefüllte Kammern etabliren, in denen die Leute vor der Ausfahrt einige Zeit verweilen, sich trocknen und völlig umkleiden müssten.

Bezüglich der Nahrung enthalten die im ersten Abschnitt mitgetheilten Briefe auch einige Winke. Die Leute sollen sich mit Fleischkost nähren; während der Arbeit vor Ort Eispillen mit wenig Schnaps nehmen u. s. w. Stets sollte nahe der Arbeitsstelle ein hinreichender Vorrath frischen Wassers sich befinden, weniger zum Trinken, als zum Waschen von Handgelenken und Schläfen. Als Getränke im Tunnel scheint kaltes Wasser verwerflich. Auf den Kriegsschiffen hütet man die Heizer vor kaltem und vielem Trinken und giebt ihnen officiell Haferschleim, Theeabkochungen, Limonade, zeitweise einen Schnaps; woneben sie sich Kaffee und zum Brodwasser einen Zusatz von Wein oder Rum zu verschaffen suchen. Auf Reisen in den heissen wasserarmen Steppen des südlichen Texas und nördlichen Mexiko hat mir Kaffee das zuträglichste Getränk geschienen, selbst dünner, welcher tagelang in der Kürbisflasche mitgeführt worden war. In schwedischen Eisen-

und Kupfergruben lässt man die Arbeiter Dünnbier trinken, damit sie den Genuss von Wasser vermeiden. Im Gotthardtunnel mischt man den Zugthieren Mehl in das Trinkwasser. Die Schutter- und Maschinenposten, welche oft 14 Stunden im Tunnel verweilen, nehmen daselbst ihre einfachen Mahlzeiten ein, wozu sie Rothwein und Wasser, sehr selten Spirituosa geniessen.

Dass bei der Ausführung von Hochgebirgs-Tunneln in heissem Terrain die Kostenfrage, selbst die Zeitfrage, oft Nebenfragen werden dürften, liegt in der Natur der zu lösenden Aufgabe.

Nicht dadurch, dass man die Schwierigkeiten einer zu lösenden Aufgabe leugnet, oder unterschätzt — oder als leicht zu überwindende Bagatelle hinstellt, führt man die Aufgabe ihrer Lösung näher; sondern nur, anchdem man die Schwierigkeiten ermittelt, genau geprüft und sodann die Mittel abgewägt hat, über welche man zu ihrer Ueberwindung verfügt, kann man mit Aussicht auf Erfolg einen Kampf gegen diese Schwierigkeiten wagen; denn — „die erste Bedingung einer rechtmässigen und zweckdienlichen Kriegsführung ist die, dass über den Feind keine Irrung herrsche!“

Aus diesem Gesichtspunkte urtheilend, wird Niemand die vorstehende Studie als einen gegen Hochgebirgs-Tunnel geführten Streich auffassen, sondern vielmehr als eine objective Kritik, durch welche die sichere Ausführung solcher Arbeiten vielleicht gefördert, aber nicht gehemmt werden kann.

Airolo, 1. Mai bis 3. September 1879.

Bemerkungen über die Dioptrik der Krystalllinse und die Periskopie des Auges.

Von

Dr. Schoen,
Privatdocent an der Universität Leipzig.

Der Arbeit Hermann's über den schiefen Durchgang von Strahlenbündeln durch Linsen sind schnell eine Reihe anderer gefolgt, welche hauptsächlich die Periskopie des Auges behandeln. Hermann sprach die Meinung aus, dass man selten fehl gehe, wenn man bei einer noch unverstandenen Einrichtung nach der Zweckmässigkeit derselben forsche. In der That müssen ja die causae efficientes der Darwin'schen Theorie schliesslich zu demselben Resultate führen wie die causae finales der teleologischen. Nur wird man im Zweifel darüber sein können, was denn wirklich das Zweckmässigste im Einzelfalle sei, und es scheint mir durchaus nicht sicher, ob Periskopie schlechtweg als die zweckmässigste Einrichtung des Auges bezeichnet werden darf. Wollte die Natur ein kleines, handliches, leicht bewegliches, für Nähe und Ferne einstellbares Gesichtsorgan mit möglichst grossem Gesichtsfelde herstellen, so war die Kugelform des Auges mit linsenförmiger, in ihrer Form veränderlicher Linse das einzig Mögliche. Dadurch war wiederum die Annäherung der Seitentheile der Netzhaut an die brechenden Medien bedingt. Sollte nun überhaupt ein einigermaassen brauchbares Bild auf der Netzhaut zu Stande kommen, so mussten die brechenden Medien in der seitlichen Richtung stärker brechen. Dass soweit Periskopie wirklich vorhanden ist, kann nicht mehr bezweifelt werden.

Geht man darüber hinaus, so tauchen verschiedene Punkte auf, welche einzeln untersucht werden müssen.

Biconvexe homogene Linsen brechen seitliche Strahlenbündel astigmatisch. Ist zum Begriff der Periskopie oder überhaupt zu dem der zweckmässigsten Einrichtung des Auges erforderlich, dass dieser Astig-

matismus beim menschlichen Auge vorhanden oder ganz oder theilweise beseitigt sei?

Ist zweitens Periskopie so zu verstehen und gehört es zur zweckmässigen Einrichtung des Auges, dass bei normal-kurz- und übersichtigen Augen die Fernpunkte der seitlichen Netzhaut jedesmal in derselben Entfernung wie der centrale Fernpunkt liegen?

Gehört es drittens zur Periskopie und ist es zweckmässig, wenn die seitlichen, deutlich gesehenen Punkte sich beim accommodirten Auge ebenfalls in einer concentrischen, durch den Fixationspunkt gehenden Accommodationssphäre befinden? Wie ist endlich das Verhältniss für das binoculare Sehen und das Doppelsehen?

Die meisten Schriften zielen dahin, das Vorhandensein vollständiger Homocentricität schiefer Strahlenbündel beim Durchgang durch die thierische Linse und die Zweckmässigkeit einer solchen Einrichtung darzuthun. Diese Meinung konnte ich nicht theilen, weil einmal meine Experimente an Thierlinsen ein anderes Resultat ergeben hatten und zweitens eine Ueberlegung der eben aufgeführten Punkte eine derartige Periskopie gar nicht einmal wünschenswerth erscheinen liess. Für das emmetropische accommodationslose Auge wäre die Einrichtung allerdings zweckentsprechend, hinsichtlich aller fernen Gegenstände. Trotzdem ist auch hier eine grosse Schärfe der Bilder zwecklos, denn das räumliche Sehvermögen der seitlichen Netzhaut ist ein sehr stumpfes und vermag nur grobe Umrisse wahrzunehmen. Hätte die Natur wirklich die Einrichtung getroffen, dass auf der Netzhautperipherie gleich scharfe Bilder wie im Centrum zu Stande kämen, so müssten wir das als verlorene Mühe ansehen. Sehr wenige seitliche Gegenstände befinden sich ausserdem in derselben Entfernung vom Auge wie der Fixationspunkt.

Hinsichtlich des zweiten Punktes liegt es auf der Hand, dass es durchaus nicht als besonders zweckmässig bezeichnet werden kann, wenn kurz- und übersichtige Augen seitlich ebenso übersichtig und kurzsichtig wären, wie im Centrum. Denn auch für Letztere liegt keine Zweckmässigkeit vor, weil für die Arbeiten in der Nähe das periphere Sehen fast gar nicht gebraucht wird. Da überdiess meistens Kurzsichtigkeit erworben ist und zwar auf dem Wege eines krankhaften Processes, so besteht die grosse Schwierigkeit, die verhältnissmässige Verlängerung der seitlichen Axen zu erklären. Endlich würde das, was dem einen Auge in voller Schärfe erschiene, wegen der Form des Horopters dem anderen doch undeutlich bleiben. Für nicht normalsichtige Augen kann Periskopie in dem Sinne, dass die Fernpunkte der seitlichen Netzhaut in derselben Entfernung wie der centrale Fernpunkt liegen, nicht als zweckmässig gelten.

Das Gleiche ist im Hinblick auf die Accommodation zu sagen, dieselbe hat Werth nur für das centrale Sehen, einmal, weil die Stumpfheit der Seitentheile doch keinen Vortheil aus einem schärferen Bilde zu ziehen vermöchte, dann, weil wir das periphere Sehen niemals für die Nähe benutzen. Wir setzen den Accommodationsapparat nicht in Thätigkeit um einen seitlich gelegenen Gegenstand deutlicher zu sehen, ohne das Auge auch nach diesem zu richten. Grosse Schärfe peripherer Bilder würde auch zu störendem Doppelsehen wegen der Form des Horopters führen.

Man darf annehmen, dass die peripherische Netzhaut anatomisch nicht so vorzüglich von der Natur ausgestattet wurde wie die Macula, weil die unvermeidlichen Doppelbilder dann wegen der Schärfe ihrer Umrisse sich in sehr störender Weise bemerklich gemacht haben würden.

Es scheint somit nicht leicht, klar zu stellen, was als die zweckmässigste Einrichtung angesehen werden soll und ich habe daher von vornherein grossen Werth auf die experimentelle Untersuchung von Thierlinsen gelegt. Die ersten Resultate solcher Untersuchungen sind mitgetheilt: Ueber die Brechung seitlich einfallender Strahlen u. s. w. Sitz.-Ber. der ophth. Ges. *Monatsblatt f. Augenheilk.* 1877 und *Arch. f. Ophth.* 1877. XXIV. I. S. 94 und IV. S. 91. Die Lehre vom binocularen Sehen.

Das Ergebniss war, dass vollständige Homocentricität schiefer Strahlen nicht vorhanden ist, und dass die Zweckmässigkeit in anderer Richtung gesucht werden muss.

Die astigmatische Brechung schiefer Strahlen in Thierlinsen.

Ich habe eine Reihe frischer thierischer Linsen auf Astigmatismus untersucht und Messungen an denselben angestellt. Es ergab sich, dass dieselben nicht völlig periskopisch waren, und von seitlichen Gegenständen deutlich astigmatische Bilder lieferten. Vom Vorhandensein der astigmatischen Brennlinien kann man sich mit blossem Auge überzeugen, indem man ein Blättchen Papier in die Nähe der Linse hält. Will man Messungen anstellen, so legt man die vorsichtig mit der Kapsel aus dem Auge genommene Linse auf ein kleines Diaphragma, die Vorderfläche nach unten, so dass der Rand der Linse aufliegt, und bringt unterhalb einen Leuchtpunkt an. Der Tubus eines umlegbaren Mikroskopes wird dann nach einander auf die I. und II. Brennlinie und die mit ein wenig Calomel bestäubte Hinterwand der Linse eingestellt. Der Tubus des von mir angewandten Mikroskopes hat eine

Verschiebung von 5 mm, die Schraube macht dabei 12 Umdrehungen. Auf jede Umdrehung kommen somit 0·41 mm. Ich habe auch die Winkel des eintretenden und austretenden Strahlenbündels bestimmt. Das Diaphragma war um eine horizontale Axe drehbar und der Drehungswinkel an einem Quadranten abzulesen; ebenso gab ein an dem Objecttische des Mikroskopes befestigter Quadrant den Neigungsgrad desselben an. Die meisten Messungen sind annähernd unter dem Winkel von 60° angestellt, den Berechnungen wurde daher auch dieser Winkel zu Grunde gelegt.

Vergleichen wir die gefundenen Zahlen mit den von Hermann berechneten (S. 23, a. a. O.), so ergiebt sich bezüglich des Schweinsauges, dessen Constanten den von Hermann in die Rechnung aufgenommenen ungefähr entsprechen, eine ziemliche Uebereinstimmung.

Bedeutender ist die Abweichung bei den Ochsenlinsen. Nach Hermann's Formeln S. 16, 22 und 23 berechnet wären für Ochsenlinsen folgende Zahlen zu erwarten. Wir setzen:

Brechungs-Index der Corticalis	$m = 1\cdot3$
„ des Kernes	$\mu = 1\cdot5$
Radius der ganzen als symmetrisch angenommenen Linse	$r = 12$
Axendicke der Linse	$d = 12$
Radius des kugelförmig angenommenen Kernes . . .	$\varrho = 6$
Einfallswinkel mit der Axe	$\lambda = 60^0$

und nehmen an, dass das Strahlenbündel durch den optischen Mittelpunkt der Linse geht. Der Austrittswinkel mit der Axe ist in diesem Falle $= \lambda = 60^0$, die Winkel mit dem Lothe ausserhalb der Linse $\varphi = 30$, die Winkel mit dem Lothe innerhalb $\psi = 22^0$, die Weglänge des Strahles in der Linse $\delta = 15\cdot2$ mm. Der Werth $\zeta = \sqrt{m^2 - \sin^2\varphi} - \cos\varphi$ wird $= 0\cdot334$. Nach dieser Berechnung ergiebt sich die Entfernung des centralen Brennpunktes von der Hinterfläche der Linse $= 8\cdot1$ mm,[1] was nach meinen Messungen an den Ochsenlinsen der Wirklichkeit entspricht.

Ich fand durch Messungen an 8 Ochsen- und 5 Schweinslinsen folgende Mittelwerthe:

Ochsenlinse:			Schweinslinse:		
I. Brl.	II. Brl.	Brennstr.	I. Brl.	II. Brl.	Brennstr.
1·5	5·6	3·1	0·8	2·1	1·3

[1] In der Mittheilung im *Archiv f. Ophth.* steht hier irrthümlich cm.

Berechnet nach Hermann's Formel wären zu erwarten gewesen:

für zusammengesetzte Linsen:

			Schweinslinse.		
I. Brl.	II. Brl.	Brennstr.	I. Brl.	II. Brl.	Brennstr.
3·4	4·5	1·1	1·06	1·97	0·91
		für homogene Linsen:			
3·0	5·3	2·3	0·9	2·6	1·7.

Die Zahlen bezeichnen die Entfernung von der Hinterfläche der Linse in Millimetern und zwar für ein unter einem Winkel von 60° zur Linsenaxe eintretendes Strahlenbündel. Die Entfernung, in welcher

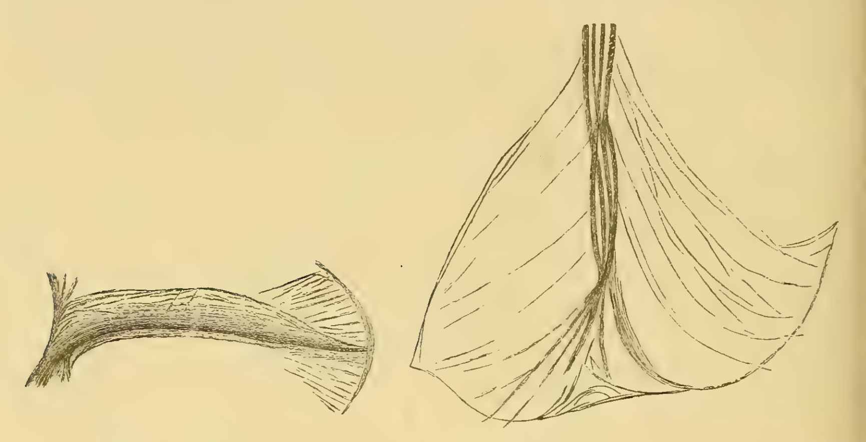


Fig. 1. I. Brl. Fig. 2. II. Brl.

sich der Leuchtpunkt bei den Experimenten befand, wechselte zwischen 65, 86, 130 und 305 cm. Ich habe die Versuche kürzlich noch einmal in etwas veränderter und verbesserter Weise wiederholt. Der Leuchtpunkt (ein rundes Loch von 6 mm Durchmesser in einem Schirme dicht vor einer Petroleumflamme) befindet sich vorn und unten in einer Entfernung von 418 cm vom Objecttische des Mikroskopes. Die von demselben ausgehenden Strahlen bilden beim Durchtritt durch die Oeffnung des Tisches mit der Senkrechten einen Winkel von 76°. Im Uebrigen verfuhr ich wie früher.

Beistehende Skizzen geben eine Vorstellung von dem Aussehen der II. in der Einfallsebene und I. senkrecht zu derselben stehenden Brennlinse bei schwacher Vergrösserung. Hartnack, Obj. 4, Oc. 2, eingesch. Tubus. Die II. Brl. besteht aus einem Bündel heller Lichtlinien, die nach unten sich ein wenig ausfasern, umgeben von viel schwächeren

[1] Die genauen Zahlen befinden sich im *Archiv f. Ophth.* XXIV. 1877. 1. S. 95.

Streifen. Die I. Brl. besteht aus einer hellen nach unten scharf begrenzten Linie; nach oben schliesst sich an dieselbe noch ein schmaler rasch an Intensität verlierender Saum an. Beide Brl. schillern in allen Farben. Der Einfallswinkel betrug 60°.

Bei den weiteren Versuchen wurden statt eines Lichtpunktes deren zwei angewandt, die sich von der Linse in einer Entfernung = 418 cm befanden. Ihr Abstand untereinander betrug 20 cm. Zuerst lagen die beiden Leuchtpunkte in einer Horizontalen nebeneinander.

In den II. Brennlinien erscheinen die beiden Leuchtpunkte als zwei nahezu 40 mm von einander entfernte senkrechte Linien. Die I. Brennlinien sind nicht gesondert, fallen vielmehr zum grössten Theile aufeinander.

II. Reihe.

Das Resultat der Messungen an 6 Linsen ist folgendes:

Eintritts-winkel mit der Linsenachse. λ	Austritts-winkel mit der Linsenachse. λ_1	I. Brl. Hinter der Hinterfläche der Linse.	II. Brl. Hinter der Hinterfläche der Linse.	Brennstr.	Entfernung der beiden II. Brl. von einander. Bildgrösse am Ort der II. Brl.
69	55	0·61	4·1	3·48	42·5
69	55	0·82	4·1	3·28	40·5
59	45	1·84	4·51	2·67	43
56	42	2·87	4·92	2·05	36
49	35	3·48	4·92	1·44	41·5
	Mittel:	1·92	4·51	2·58	40.7

Da die Vergrösserung eine 70fache (Hartnack, Obj. 4, Oc. 2, ausgezogener Tubus) und die scheinbare Entfernung der zwei II. Brl. im Mittel = 40.7 mm war, so betrug die wirkliche Grösse des durch die Ochsenlinse von den beiden horizontalen Leuchtpunkten entworfenen Bildes 0·58 mm.

Bei den folgenden Versuchen lagen die Leuchtpunkte in einer Senkrechten ebenso wie oben von einander und von der Linse entfernt.

III. Reihe.

λ	λ_1	I. Brl.	II. Brl.	Bildstr.	Entfernung der I. Brl. von einander. Bildgrössen in der I. Brl.
61	55	0·84	4· 3	3·48	29
58	50	1·64	4·92	3·28	33
51	45	1·84	4·7	2·87	30
44	38	1·64	4·92	3·28	32
Mittel:		1.49	4·71	3·22	Scheinbare Grösse: 31
					Wirkliche „ 0·44

Bei dieser letzten Versuchsreihe mit senkrecht übereinanderliegenden Leuchtpunkten erscheinen zwei horizontale I. Brennlinien mit einem wirklichen Abstande untereinander von 0·44 mm. Dagegen deckten die II. Brennlinien der beiden Leuchtpunkte sich zum grössten Theile und bildeten eine einzige senkrecht gelegene. Diese beiden Versuchsreihen sind sehr zuverlässig.

Bei Linsen von einem nicht ausgewachsenen Rinde fand ich folgende Zahlen. Verticale Leuchtpunkte. Die Messungen konnten nicht oft wiederholt werden, weil die Linsen bald unbrauchbar wurden.

IV. Reihe.

λ	λ_1	I. Brl.	II. Brl.	Bildstr.
60	52	2·26	4·92	2·66
50	42	3·69	5·74	2·05.

Zur Controle berechnen wir aus der Bildgrösse, d. h. der Entfernung der zwei I. (bez. II.) Brennlinien unter sich im Verhältniss zu der des Objectes, d. h. dem Abstande der Leuchtpunkte unter sich, die Lage des Mittelpunktes der Linse und die Länge der Brennstrecke.

Die wirkliche Grösse des Bildes der in einer Horizontalen gelegenen Leuchtpunkte, am Orte der zweiten Brennlinien, also die Entfernung der zweiten Brennlinien unter sich ist = 0·58 mm. Also:

$$200 : 4180 = 0{\cdot}58 : x_2 \quad \text{oder} \quad x_2 = 12{\cdot}122.$$

Dies ist die Entfernung der II. Brl. vom Mittelpunkte der Linse. Die ersten Brennlinien geben von in der Horizontalen gelegenen Leuchtpunkten kein differenzirtes Bild.

Die wirkliche Grösse des Bildes der in einer Verticalen gelegenen Leuchtpunkte am Orte der ersten Brennlinien, also die Entfernung der ersten Brennlinien unter sich ist = 0·44 mm. Also:

$$200 : 4180 = 0{\cdot}44 : x_1 \quad \text{oder} \quad x_1 = 9{\cdot}19.$$

Dies ist die Entfernung der I. Brl. vom Mittelpunkte der Linse. Die zweiten Brennlinien geben von in der Verticalen gelegenen Leuchtpunkten kein differenzirtes Bild.

$$x_2 - x_1 = 12{\cdot}12 - 9{\cdot}19 = 2{\cdot}93$$

ist die Länge der Brennstrecke, was genau genug stimmt.

Aus dem Werthe der II. Brl. berechnet musste sich der Mittelpunkt 12·12 — 4·51 = 7·61 vor der hinteren Linsenfläche befinden, aus dem Werthe der I. Brl. würde man 9.19 – 1.49 = 7.7 erhalten. Das Mittel ist also 7·65.

Da nun die Weglänge des Strahlenbündels in der Linse $\delta = 15 \cdot 2^{mm}$ ist, so giebt die Zahl 7·65 vor der Hinterfläche in der That den Mittelpunkt der Linse, was mit unserer Voraussetzung (s. oben) und mit der Wirklichkeit stimmt, da nach Matthiessen (Pflüger's *Archiv* u. s. w. 1879. S. 549) die beiden Hauptpunkte für centrale Strahlen fast genau gleich weit von den Linsenflächen abliegen (5·7 und 5·8 mm) und von einander nur 0·44 mm entfernt sind.

Endlich habe ich noch eine Versuchsreihe mit vier Leuchtpunkten gleichzeitig ausgeführt, deren Stellung die eines auf der einen Ecke stehenden Viereckes war ·⁚·; Maasse und Entfernungen wie früher. Am Orte der I. Brl. erhält man drei horizontale Brennlinien, von denen die mittlere Rechts und Links hervorragte, am Orte der II. Brl. drei senkrechte; hier reichte die mittlere nach oben und unten über die seitlichen hinaus.

V. Reihe.

λ	λ_1	I. Brl.	II. Brl.	Brennstr.	Bildgrösse in I. Brl.	Bildgrösse in II. Brl.	
84	70	1·03	3·5	2·46	30	41	
74	60	0·81	3·5	2.66	28	38.5	
69	55	1·21	4·1	2·87	28·5	40	
69	55	2·05	4·3	2·26	29·5	39	
59	45	2·46	4·3	1·84	29·5	41	
		1·51	3·94	2·5	29·1	40	scheinbare Grösse.
					0·41	0·57	wirkliche „

Berechnen wir auch hier aus den Bildgrössen die Entfernungen vom Mittelpunkte der Linse.

$$x_1 = 8 \cdot 61$$
$$x_2 = 11 \cdot 91$$
$$x_2 - x_1 = 3 \cdot 36 \text{ Brennstrecke.}$$

$$\left.\begin{array}{l} 8 \cdot 61 - 1 \cdot 51 = 7 \cdot 1 \\ 11 \cdot 91 - 3 \cdot 94 = 7 \cdot 97 \end{array}\right\} \text{Entfernung des Mittelpunktes der Linse von der Hinterfläche.}$$

Bringt man die vier Leuchtpunkte in grössere Entfernung, so kann man stärkere Vergrösserungen wegen der Abschwächung des Lichtes nicht mehr anwenden, bei schwächerer treten aber die Brennlinien sehr deutlich hervor, wenn es auch wegen der geringeren Entfernung der Linien von einander im Gesichtsfelde des Mikroskops nicht möglich ist,

die Bildgrössen mit hinreichender Genauigkeit zu messen. Die Leuchtpunkte befinden sich in 10^m Entfernung, die Strahlen bilden mit der Verticalen an der Oeffnung des Objecttisches einen Winkel = 85°. Die Leuchtpunkte erscheinen bei 20maliger Vergrösserung am Orte der II. Brl. als drei dicht nebeneinander liegende senkrechte Linien, am Orte der I. als ebensoviele horizontale. Die mittlere ist jedesmal länger als die beiden anderen, weil sie aus zwei sich theilweise deckenden Brl. zweier Leuchtpunkte besteht. Die Einstellung ist hier mit grösster Genauigkeit auszuführen. Wenn der Austrittswinkel mit der Achse λ_1 kleiner als 35° wird, ist kein deutlicher Astigmatismus mehr vorhanden. Derselbe hört schon bei 40° auf, gut messbar zu sein.

VI. Reihe.

	λ	λ_1	I. Brl.	II. Brl.	B.S.
	80	65	0·0	4·5	4·5
	77	62	0·61	4·1	3·49
	75	60	0·0	5·3	5·3
	75	60	0·41	3·9	3·48
	75	55	0·82	3·69	2·87
	72	57	0·41	4·1	3·69
	72	57	1·03	3·9	2·87
	72	57	1·23	3·69	2·45
	70	55	0·41	4·5	4·1
	70	55	0·41	4·1	3·69
	68	55	0·82	4·1	3·28
	65	50	0·82	4·3	3·48
	65	50	1·64	4·3	2·66
	65	50	1·23	4·3	3·07
	62	47	2·05	4·5	2·46
	60	45	2·46	3·69	1·23
	60	45	2·66	3·9	1·23
	60	45	2·87	4·92	2·05
	59	44	2·87	4·92	2·05
	57	42	2·66	4·5	1·85
	55	40	3·28	5·1	1·85
Mittel:	67	52	1·36	4·3	3·0

Fassen wir alle für die Ochsenlinse gefundenen Werthe zusammen:

	I. Brl.	II. Bl.	B-S.	
Berechnet.	3·4	4·5	1·1	zusammengesetzte } Linse bei $\lambda = 60^0$.
	3·0	5·3	2.3	homogene } Linse bei $\lambda = 60^0$.
Gefunden.	1·5	4·6	3·1	1. Reihe 1. Leuchtpunkt *A. f. O.* XXIV. 1877. I. S. 195
	1·92	4·51	2·58	2. „ 2. „ horizontal.
	1·49	4·71	3·22	3. „ 2. „ vertical.
	2·99	5·33	2·25	4. „ 2. „ vertical.
	1·51	3·94	2·5	5. „ 4. „
	1·36	4·3	3·0	6. „ 4. „
Mittel:	1·8	4·5	2·8	

Im Auge des lebenden Thieres wird die Linse wahrscheinlich weniger kugelig sein und dürften die Zahlen daher besser auf ein accommodirtes Auge, als auf ein ruhendes passen.

In folgender Tabellle sind die in diesem Aufsatz mitgetheilten Zahlen nach den Einfallswinkeln zusammengestellt.

Tabelle A.

λ	λ_1		I. Brl.		II. Brl.		B.-S.	
84	70		1·03		3·5		2·46	
80	65		0·0		5·3		5·3	
77	62	77	0·61		4·1		3·49	
75	60	62	0·0	0·5	5·3	4·2	5·3	3·6
75	60		0·41		3·9		3·48	
75	60		0·82		3·69		2·87	
74	60		0·81		3·5		2·66	
72	57		0·41		3·9		3·69	
72	57	71	1·03		3·69		2·87	3·3
72	57	62	1·23	0·7	4·3	4·1	2·46	
70	55		0·41		4·5		4·1	
70	55		0·41		4·1		3·69	
69	55		0·61		4·1		3·48	
69	55	69	0·82		4·1		3·28	3·05
69	55	55	1·21	0·9	4·1	4·15	2·87	
69	55		2·05		4·3		2.26	
68	55		0·82		4·1		3·28	

Tabelle A. (Fortsetzung.)

λ	λ_1		I. Brl.		II. Brl.		B.-S.	
65	50		0·82		4·3		4·48	
65	50		1·64		4.3		2·66	
65	50		1·23		4·3		3·07	
62	47		2·05		4·5		2·46	
61	55		0·84		4·3		3·48	
60	52		2·26		4·92		2·66	
60	45	$\frac{61}{47}$	2·46	1·9	3·69	4·4	1·23	2·4
60	45		2·66		3·9		1·23	
60	45		2·87		4·92		2·05	
59	45		1·84		4·51		2·67	
59	45		2·46		4·3		1·84	
59	44		2·87		4·92		2·05	
58	50		1·64		4·92		3·28	
57	42		2·66		4·5		1·85	
56	42		2·87		4·92		2·05	
55	40	$\frac{52}{42}$	3·28	2·5	5·1	4·9	1·85	2·4
51	45		1·84		4·7		2·87	
49	35		3·48		4·92		1·44	
44	38		1·64		4·92		3·28	

Zur Vergleichung diene eine ähnliche Zusammenstellung der in meinen ersten Arbeiten gegebenen Zahlen.

Tabelle B.

λ	λ_1	$\frac{\lambda}{\lambda}$	Brennstr.		I. Brl.	
79	60		3·69		0·82	
79	55	$\frac{77}{59}$	4·1	4·5	1·03	0·6
75	60		4·91		0·41	
75	60		5·33		0·0	
74	60		2·78		1·64	
74	45	$\frac{74}{50}$	4·1	3·1	0·82	1·4
73	45		2·46		1·84	

Tabelle B. (Fortsetzung.)

λ	λ_1	$\frac{\lambda'}{\lambda}$	Bildstr.		I. Brl.	
70	60		4·51		0·41	
70	60	69/57	4·31	4·3	0·0	0·7
69	50		3·69		1.21	
68	50		4.51		0·41	
60	60		3·69		0·41	
58	45		2·87		1·23	
57	47	57/48	2·46	2·7	2.05	1·8
55	50		2·46		2·05	
55	40		2·05		3·28	
54	52		3·28		1·64	
54	45		2·46		2·46	
54	45		2·46		2·25	
54	40		1·64		3·28	
53	40	52/44	2·05	2·6	2·81	2·3
52	45		3·28		2·05	
52	45		3·07		1·64	
48	45		2·87		2·05	
41	42		2·05		3·69	

Die Resultate der Tabelle A sind in der Fig. 3 vergrössert dargestellt. Als Constanten der Ochsenlinse sind angenommen: Radius der Vorderfläche = 13·75, der Hinterfläche 10.25, Ochsendicke = 12, Entfernung des hinteren centralen Brennpunktes = 8 ^{mm} von der Hinterfläche. Die Strahlen *a b c d f* fallen unter den Winkel λ, mit der Achse *VF* von 77, 71, 69, 61 und 52° auf die Linse. Ihre Trajectorien an derselben sind von den beiden ersteren Strahlen angedeutet. Sie treten unter den Winkeln von 62, 56, 55, 47 und 42° mit der Achse aus. Die Austrittswinkel sind kleiner als die Eintrittswinkel. Die Differenz variirt zwischen 15 und 10 Grad. Auf diesen Strahlen ist der jedesmalige Ort der I. und II. Brennlinse angegeben. Unter 40° mit der Achse hört der Astigmatismus auf messbar zu sein. Der wahrscheinliche Ort der Brennlinien in diesem Bereiche ist durch punctirte Linien angezeigt.

Es ist also zweifellos, dass das Thier zwei seitlich in der Einfallsebene gelegene Leuchtpunkte nicht getrennt sieht, wenn seine Netzhaut

sich am Orte der II. Brennlinse befindet. Ebenso wenig kann es zwei Leuchtpunkte unterscheiden, welche in einer zur Einfallsebene senkrechten Linie liegen, wenn die Netzhaut sich am Orte der I. Brenn-

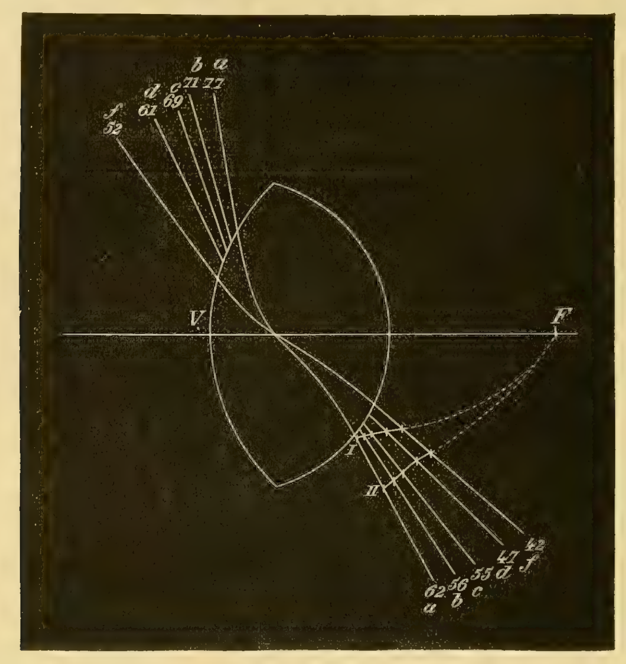


Fig 3.

linse befindet. In beiden Fällen würden sich nämlich die Brennlinien zum Theil auf der Netzhaut decken.

Mit Einfallsebene bezeichnen wir die durch die Linsenaxe und den vom Object ausgehenden Einfallsstrahl gelegte Ebene. (Die beiden Leuchtpunkte sind nur ein Object.)

Die astigmatische Brechung schiefer Strahlen im menschlichen Auge.

Unter der Voraussetzung, dass beim menschlichen Auge ebenso wenig wie bei der Ochsen- und Schweinslinse der Astigmatismus vollständig beseitigt sei, hatte ich der Veranschaulichung wegen die Lage der Brennlinie im menschlichen Auge berechnet für ein unter einem Winkel von 60^{0} zur Achse auf die Linse auffallendes Strahlenbündel und dabei dem

accommodirten und nicht accommodirten Auge folgende Werthe zu Grunde gelegt.[1] Der centrale Fernpunkt des accommodirten Auges befindet sich 155mm vor der Hornhaut.

Achse der Linse	4·0	4·0
Vorderer Radius	10·0	5·5
Hinterer Radius	6·0	5·0
Brechungs-Index des Hum. aqueus u. Glaskörpers	1·34	1.34
„ „ , total, der Linse	1·45	1·45
λ	60°	60°
φ	43°	35°
ψ	39°	32°

Es ergeben sich folgende Werthe:

I. Brl.		II. Brl.	Brennstr.	
Nicht accommodirt.				
8·7	(Matth. 9·1)	12·1	3·4	(Ferne Leuchtpunkte.)
Accommodirt.				
8·2[2]	(Matth. 8·2)	10·7	2·5	(Ferne Leuchtpunkte.)
9·5	(Matth. 8.9)	12·2	2.9	(In der Accommodationssphäre gelegene Leuchtpunkte.)

Den Ort der Netzhaut an dieser Stelle (60°) nahm ich nach eigenen Messungen auf 9 bis 10mm hinter der Hinterfläche der Linse an.

Hiernach wäre die Netzhaut innerhalb der Brennstrecke bei accommodirtem sowohl wie bei nicht accommodirtem Auge gelegen. Fick (Pflüger's *Archiv* u. s. w. 1879. II. u. III.) dagegen glaubt, dass die Netzhaut in der Nähe der zweiten Brennlinie sich befinde und meint, dass in der That die Netzhaut des Helmholtz'schen schematischen Auges mit der Lage der zweiten Brennlinie zusammenfalle. Er schreibt nur der II. Brl. Bedeutung zu, wegen der schrägen Stellung der Pupille zum Strahlenbündel.

Matthiesen (vergl. Pflüger's *Archiv* u. s. w. 1879. II. u. III. S. 480) findet dieLage der Brennlinien für das nicht accommodirte Auge, so wie ich sie berechnet habe. Er benutzt als Beispiel ebenfalls ein unter 60° auffallendes Strahlenbündel. Die zweite Brennlinie, deren Berechnung er nicht ausführt, liegt ausserhalb des Auges, die I. Brl. 9·1 hinter der Linse. Den Ort der Netzhaut nimmt Matthiesen mit 11.2 hinter der

[1] A. a. O.

[2] In der ersten Veröffentlichung findet sich hier ein Versehen.

Linse an. Im accommodirten Auge liegt die I. Brl. 8·2 hinter der Linse, also genau wie nach meiner Berechnung, die II. Brl. soll sich auch hier ausserhalb des Auges befinden. Nach meiner Berechnung würde sie gerade in die Netzhaut selbst fallen. Die Entscheidung der Frage kann nur das Experiment liefern, weil die Rechnung genöthigt ist verschiedene Werthe und namentlich Richtungen gebrochener Strahlen ohne genaue Kenntniss annähernd einzuführen.

Wer die Verschiedenheit der Augenform bei den einzelnen Refractionszuständen berücksichtigt, muss erwarten, dass auch die Lage der seitlichen

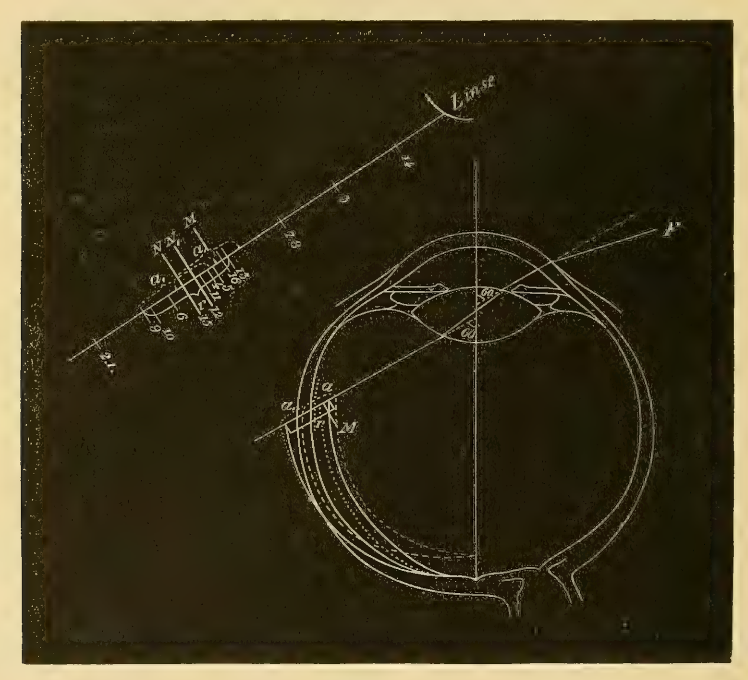


Fig. 4.

Netzhaut zu den Brennlinien des dioptrischen Systems sehr wechselnd sein wird. Der Fig. 4 liegt das von Merckel entworfene Auge (2 malige Vergr.) zu Grunde (Graefe und Saemisch, *Handb.* I. S. 43). Der Strahl *F* wird an der Hornhaut so gebrochen, dass er unter einem Winkel mit der Achse von 60° auf die Linse fällt; er geht durch das Centrum der Linse, verlässt dieselbe wiederum unter einem Winkel von 60° mit der Achse und trifft auf eine 60° excentrisch gelegene Netzhautstelle.

Die I. und II. Brl. des ruhenden Auges sind in ausgezogenen Linien eingezeichnet und durch eine eckige mit *r* bezeichnete Klammer ver-

bunden, die des accommodirten gestrichelt eingezeichnet und durch eine runde Klammer mit dem Buchstaben a verbunden. Der Ort der Netzhaut nach zwei von mir ausgeführten Messungen ist durch eine kurze punctirte Linie angedeutet, der Ort der I. Brl. des nicht accommodirten Auges nach Matthiessen durch eine mit M bezeichnete Linie. Die I. Brl. des accommodirten Auges Matthiessen fällt mit der von mir berechneten zusammen. Durch ausgezogene und gestrichelte Linien ist weiter angedeutet worden, wie sich die Lage der Brennstrecken für centralere Netzhautstellen wahrscheinlich gestaltet.

Ich habe auch berechnet, wo sich bei dem auf einen $155^{mm} = 5 \cdot 7''$ vor der Hornhaut gelegenen Punkt accommodirten Auge sich ein 60^0 seitlich in der Accommodationssphäre liegender Leuchtpunkt abbilden würde. Ich fand

I. Brl.		II. Brl.	Brennstr.
9·3	(Matth. 9·8)	12·2	2·9

Diese Werthe sind ebenfalls eingetragen und zwar durch punctirte Linien. Sie sind durch eine runde punctirte Klammer verbunden, die den Buchstaben a_1 führt. Es bedeuten also die gestrichelten Linien die Brennstrecke entfernter Leuchtpunkte, die punctirten die Bildstrecke in der Accommodationssphäre gelegener Leuchtpunkte, wie sie durch ein stark accommodirtes Auge erzeugt werden.

Der charakteristische Theil der Figur ist 4 mal vergrössert, daneben wiederholt. N ist die Lage der Netzhaut nach Merkel, N_1 nach meinen Messungen. M die Lage der I. Brl. des ruhenden Auges nach Matthiessen. r die Bildstrecke des ruhenden Auges (mihi), a die des accommodirten von fernen Leuchtpunkten, a_1 die des accommodirten von in der Accommodationssphäre gelegenen.

Ausserdem sind in diese Neben-Figur die Resultate der Messungen an Menschenaugen eingetragen, zu deren Besprechung wir jetzt übergehen. Die Beschreibung des Apparates, dessen ich mich bei den Messungen bediente, findet sich *Arch. f. Ophth.* XXIV, 1877. Abth. IV, S. 91. Da subjective Untersuchungen über die Lage der Brennlinien zur Netzhaut mir kein verlässliches Resultat ergeben wollten, suchte ich nach einer objectiven Methode und fand diese darin, dass ich mit dem Augenspiegel Schatten von einem horizontalen und einem verticalen Gitter in das seitwärts um (60^0) gewandte zu untersuchende Auge warf und die Entfernung der Gitter bestimmte, welche nöthig war, um mir die Schatten im untersuchten Auge möglichst deutlich erscheinen zu lassen. Aus der Differenz der Entfernungen des horizontalen und verticalen Gitters wurde der Grad

des Astigmatismus berechnet und ausgedrückt durch den Werth der Cylinderlinse, welche den Astigmatismus corrigiren würde. Sämmtliche

	Central.	Seitlich 60°. Verticaler Meridian.	Seitlich 60°. Horizontaler Meridian.	Differenz.
1.	M $\frac{1}{36}$	M $\frac{1}{27}$	M $\frac{1}{10}$	$\frac{1}{16}$
2.		M $\frac{1}{24}$	M $\frac{1}{9 \cdot 3}$	$\frac{1}{15}$
3.	H $\frac{1}{20}$	H $\frac{1}{7}$	H $\frac{1}{12}$	$\frac{1}{17}$
4.	H $\frac{1}{49}$	H $\frac{1}{12}$	M $\frac{1}{16 \cdot 3}$	$\frac{1}{7}$
5.	M $\frac{1}{36}$	H $\frac{1}{12}$	M $\frac{1}{42}$	$\frac{1}{10}$
6.	E.	H $\frac{1}{30}$	M $\frac{1}{16}$	$\frac{1}{10}$
7.	H $\frac{1}{8}$	H $\frac{1}{10}$	H $\frac{1}{26}$	$\frac{1}{16}$
8.		H $\frac{1}{11}$	$\frac{1}{26}$	$\frac{1}{19}$
9.	M $\frac{1}{40}$	E $\left(H \frac{1}{150}\right)$	M $\frac{1}{18}$	$\frac{1}{18}$
10.	E.	H $\frac{1}{140}$	M $\frac{1}{22}$	$\frac{1}{20}$
11.	M $\frac{1}{42}$	H $\frac{1}{24}$	M $\frac{1}{40}$	$\frac{1}{15}$
12.	M $\frac{1}{60}$	H $\frac{1}{17}$	M $\frac{1}{22}$	$\frac{1}{9 \cdot 6}$
13.	H $\frac{1}{50}$	H $\frac{1}{12}$	E.	$\frac{1}{12}$
14.	$\frac{1}{17}$	H $\frac{1}{11}$	H $\frac{1}{17}$	$\frac{1}{31}$
15.	H $\frac{1}{24}$	H $\frac{1}{20}$	M $\frac{1}{22}$	$\frac{1}{11}$
16.	M $\frac{1}{20}$	H $\frac{1}{17}$	M $\frac{1}{127}$	$\frac{1}{15}$
			Mittel:	$\frac{1}{13}$

Augen waren atropinisirt. Es zeigte sich, dass jedes im Centrum stigmatische Auge 60^0 seitlich astigmatisch ist.[1]

Aus diesen Versuchen geht zunächst hervor, dass der Astigmatismus beim menschlichen Auge nicht so bedeutend ist, wie nach dem Befunde an Thierlinsen zu erwarten gewesen wäre. Am atropinisirten accommodationslosen Augen beträgt der Astigmatismus für unter dem Winkel von 60^0 auffallende Strahlen im Mittel $= {}^1/_{13}$. Der verticale Meridian ist um ${}^1/_{13}$ weitsichtiger als der horizontale.

Nehmen wir vorläufig an, die Brennstrecke sei wirklich verhältnissmässig so lang, wie wir sie bei Thieraugen fanden, so müsste die Länge derselben der Differenz ${}^1/_{13}$ entsprechen. In der Fig. 4 ist von allen obigen Fällen die Lage der Netzhaut angegeben worden, wie sie sein müsste, wenn unter Voraussetzung eines dem der Thierlinse ähnlichen Astigmatismus im horizontalen und verticalen Meridian die entsprechende jedem der untersuchten Augen zukommende Kurz- oder Uebersichtigkeit vorhanden sein soll. In 10 Augen liegt die Netzhaut zwischen den Brennlinien, in zwei über dieselben hinaus, in vier vor ihnen.

In Wirklichkeit ist nun die Länge der Brennstrecke nicht so gross und es zeigt sich, dass die Formeln ohne Weiteres nicht auf das menschliche Auge übertragen werden können. Nimmt man nämlich den Ort der Netzhaut $= 10^{mm}$ hinter der Linse an, so würde die Entfernung der Brennlinien eine Myopie $= {}^1/_5$ im horizontalen und eine gleiche Hypermetropie im verticalen Meridian voraussetzen. Nach meinen Messungen beträgt der Astigmatismus durchschnittlich nur den fünften Theil, nämlich ${}^1/_{13}$.

Peschel, Pflüger's *Archiv* u.s.w. 1878, IX, hat, durch subjective Versuche, für sein kurzsichtiges Auge gefunden, dass 60^0 seitwärts horizontale Streifen bis auf 148^{mm}, verticale aber bis 114^{mm} genähert werden mussten. Ersterer Werth entspricht 6·6 negativen Dioptrien oder Myopie $= \frac{1}{5.5}$, letzterer 8·7 oder $M = \frac{1}{4 \cdot 2}$. Die Differenz beträgt 2·1 Dioptrieen oder $\frac{1}{17}$, ein Resultat welches mit den unseren hinreichend übereinstimmt. In Hr. Peschel's Auge würde die Netzhaut über beide Brennlinien hinaus etwa bei 2 und 1 unserer Figur liegen.

Die Zusammenfassung ergiebt: das menschliche Auge bricht schief einfallende Strahlenbündel astigmatisch und zwar so, dass der in der

[1] Bei einem der Augen eines central Astigmatischen war der Astigmatismus seitlich aufgehoben.

Einfallsebene gelegene Meridian kurzsichtiger ist. (Einfallsebene ist die durch den Einfallsstrahl und die Axe der brechenden Medien gelegte Ebene.) Bei den meisten Augen liegt die Netzhaut zwischen der I. und II. astigmatischen Brennlinie. Für unter einem Winkel von 60° mit der Axe durch die Linse gehende Strahlen beträgt die Differenz $= {}^1/_{13}$. Der Astigmatismus ist nicht so bedeutend, wie er nach dem Befunde an Thierlinsen hätte erwartet werden sollen. Die Verringerung des Astigmatismus muss einer besonders getroffenen Einrichtung zugeschrieben werden, welche entweder in dem geschichteten Baue der Linse (nach Hermann) oder (nach Matthiessen) darin zu suchen ist, dass die Begrenzungsflächen der Linsenschichten nicht sphärisch sind, sondern Rotationshyperbolorde darstellen.

Nachdem ich im Vorhergehenden gezeigt habe, dass thatsächlich der Astigmatismus der seitlichen Brechung beim menschlichen Auge nicht gänzlich beseitigt und vollständige Homocentricität nicht vorhanden ist, sei mir gestattet darzuthun, dass das Vorhandensein einer astigmatischen Brennstrecke von gewisser Länge auch als zweckmässig gelten kann, eine Behauptung, die ich schon in meiner früheren Mittheilung aufgestellt habe.

Bezeichnet man mit p den Radius der Pupille, mit m die Verbindungslinie des Pupillarcentrums mit der Fovea, mit d den halben Winkel des Zerstreuungskegels, mit η die Höhe, so ist die Basis des Zerstreuungskegels $B = \frac{\Pi p^2 \eta^2}{(m - \eta)^2}$. Da η immer sehr klein gegenüber m sein wird, so verhält sich die Helligkeit des Zerstreuungskreises umgekehrt dem Quadrat von η, der Höhe des Kegels.

Wäre das Auge nun auch seitlich homocentrisch, also etwa so, dass bei Accommodation auf einem in 20^{cm} gelegenen Punkt, alle in einer durch diesen gehenden um das Auge concentrischen Schaale, der Accommodationssphäre, liegenden Leuchtpunkte sich gerade auf der Netzhaut abbildeten, so würde folgendes stattfinden. Wir denken uns vier gleich helle Leuchtpunkte auf zwei Geraden, die sich in der Pupille des Auges unter einem Winkel von etwa 60° schneiden. Die beiden näheren Fp und Sp liegen 20^{cm}, die ferneren Fv und Sv 200^{cm} vom Auge. Nun wird der eine Fp von den näheren fixirt, der seitliche nahe Sp erscheint ebenfalls scharf und nur um die Differenz der Erregbarkeit dunkler als der fixirte.

Denken wir uns nun den seitlich näheren Sp fort, so liegt in derselben Richtung der seitlich fernere Sv. Die von diesem in das Auge gelangende Lichtmenge verhält sich zu der von Sp in dasselbe kommenden umgekehrt wie die Quadrate der Entfernungen. Ausserdem bildet sich aber Sv in einem erheblichen Zerstreuungskreise ab, dessen Helligkeit

umgekehrt proportional ist dem Quadrate von η. Die Helligkeit von Sr nimmt daher sehr rasch ab mit seiner Entfernung von Sp.

Fixiren wir Fr, so würde Sr hell und deutlich sein um bei Fixation von Fp fast vollständig zu verschwinden. Die Helligkeit und Entfernung seitlich nicht in der Accommodationssphäre gelegenen Objecte würde ungemein schwer geschätzt werden können, da die Helligkeit sich nicht nach dem gewöhnlichen Gesetz der Entfernung verringerte, sondern nach einem durch Einführung des Factors η viel verwickelter gewordenem. Denken wir uns z. B. Jemanden in einem 20^{cm} entfernten 15^{cm} breiten Buche lesend, so würde dasselbe in jedem Auge einen Netzhautbogen von 40^{0} bedecken, also noch nicht die Hälfte des gemeinsamen und nicht ein Viertel des Gesammtgesichtsfeldes. Gewöhnlich befindet sich nun genau in der Entfernung der Accommodationssphäre bei dieser und ähnlichen Beschäftigungen, neben dem fixirten Gegenstande Nichts, die übrigen $^3/_4$ des Gesichtsfeldes würden daher mit lichtschwachen verwaschenen Bildern mehr weniger entfernter Gegenstände ausgefüllt sein; was, wie man sich leicht überzeugen kann, thatsächlich nicht der Fall ist. Besteht dagegen eine astigmatische Brennstrecke ähnlich der in der Figur angenommenen und liegt wirklich die Netzhaut während der Ruhestellung innerhalb derselben in der Nähe der I. Brennlinie, so würde mit Zunahme der Accommodation die Brennstrecke mehr nach dem Augeninneren zu rücken, die Netzhaut aber selbst bei äusserster Accommodationsanspannung immer noch innerhalb der Brennstrecke sich befinden. Die seitliche Netzhaut bekommt auf diese Weise allerdings niemals astigmatische Bilder, diese hätten aber auch keinen Werth für dieselbe, einmal wegen der anatomisch begründeten geringen räumlichen Sehschärfe der peripheren Netzhaut, und dann weil sich sehr selten gerade in der betreffenden Accommodationssphäre Gegenstände befinden würden, welche für das seitliche Sehen von Interesse wären.

Dafür würde aber die Netzhaut bei jedem Fixations- und Accommodationszustande von seitlichen Leuchtpunkten, in welcher Entfernung sie sich auch befinden mögen, solche Bilder erhalten, die wenn auch nicht ganz scharf, doch für die Peripherie hinreichend scharf wären, — deren Helligkeit nur nach dem allgemeinen Gesetz der Entfernung sich änderte und nicht zwischen den Extremen vollständiger Schärfe nebst grösster Helligkeit und gänzlicher Verwaschenheit und Dunkelheit wechselte. So lange nämlich die Netzhaut innerhalb der Bildstrecke liegt, bleibt die Helligkeit vollständig dieselbe. Ueber das diese Behauptungen bestätigende Verhalten der Doppelbilder muss ich auf meine Arbeit über das binoculare Sehen verweisen.

Wenn wir beim seitlichen Sehen es überwiegend mit ausserhalb der Accommodationssphäre gelegenen sichtbaren Dingen zu thun haben, so achten wir dagegen im Centrum und der nächsten Umgebung desselben nur auf das in der Accommodationssphäre Gelegene, welches wir fixiren und sehen wollen. Erleichtert wird dies durch das Fehlen der Brennstrecke im Centrum, in Folge dessen alle nicht in der Accommodationssphäre gelegenen Gegenstände verändert, verhältnissmässig lichtschwach und verwaschen erscheinen.

Die Messungen au Thierlinseu habe ich fortgesetzt und werde darüber nächstens weiter berichten.

— — —

Neue Erscheinungen der Nicotinvergiftung.

Von

Dr. B. von Anrep.

Aus dem physiologischen Institut zu Erlangen.

Im Jahre 1867 hat Hr. Professor Rosenthal in der *Société de Biologie* zu Paris einen Vortrag über eine eigenthümliche Erscheinung der Nicotin-Vergiftung gehalten. Zufälliger Weise hatte Rosenthal die Beobachtung gemacht, dass Frösche und Kaninchen, welche einmal mit Nicotin vergiftet waren, sich während einer bestimmten Zeitdauer (einige Tage lang) ganz anders gegen wiederholte Nicotinvergiftungen verhalten, als ganz normale, noch nicht vergiftete Thiere. Allerdings schienen sie sich nach der ersten Vergiftung gänzlich erholt zu haben und zeigten keine Spur von irgend welcher Lähmung, sondern waren in ihrem ganzen Wesen vollständig normalen, gesunden Thieren gleich. Trotzdem war noch eine Wirkung der ersten Nicotinvergiftung an ihnen nachweisbar. Denn wenn man ihnen jetzt zum zweiten Male Nicotin gab, so traten die bekannten Nicotinkrämpfe und die flimmernden Muskelzuckungen bei solchen Thieren nicht ein, wohl aber, alle anderen Symptome der Vergiftung, wie Athemstillstand, Verlust der willkürlichen Bewegungen, allgemeine Lähmung u. s. w.

Da diese interessante Beobachtung weder von Rosenthal, noch von einem Anderen seitdem weiter geprüft worden ist, habe ich mich dieser Aufgabe unterzogen. Mit Freuden spreche ich Hrn. Professor Rosenthal für seine Mittheilungen und Rathschläge, sowie für die freundliche Ueberlassung aller Mittel des Laboratoriums meinen besten Dank aus.

I. Versuche an Fröschen.

Zu meinen Versuchen benutzte ich stets eine wässerige Nicotinlösung von den Concentrationen ein oder zwei Tropfen Nicotin auf 10 oder 20 cc. destillirtes Wasser. Ich arbeitete zunächst nur mit Fröschen (Rana esculenta und temporaria); sie wurden durch subcutane Injectionen, meistens unter die Rückenhaut, vergiftet.

Erst wiederholte ich die Beobachtungen von Rosenthal, und da ich sie stets vollkommen bestätigt fand, so suchte ich weiter den Einfluss von verschiedenen Nicotingaben und der Zeit auf die Erscheinungen dieser wiederholten Vergiftungen zu ermitteln.

Ich bestimmte die kleinste wirksame Gabe und die der tödtlichen am nächsten stehende. Es ergab sich, dass schon $^1/_{200}$ Tropfen Nicotin deutliche Vergiftungserscheinungen hervorruft, und dass grössere Gaben als 0·1 Tropfen fast ausnahmslos lethal sind. Auch mit Giftmengen innerhalb dieser Grenzen stellte ich meine Versuche an.

Die Wirkung einer kleinen Nicotingabe ($^1/_{200}$—$^1/_{100}$ Tr.) ist keine lange dauernde, die merkbaren Vergiftungserscheinungen sind bald vorüber. Gewöhnlich folgt gleich nach der Einspritzung eine kleine Erregung, welche sich in lebhaftem Hüpfen ausdrückt; 3—4 Minuten später tritt Unbeweglichkeit ein, der Frosch sitzt ruhig auf einer Stelle, wobei seine Extremitäten eine ganz charakteristische Lage annehmen, wie sie von Wechenfeld, von Praag und Rosenthal beschrieben ist. Die Vorderbeine werden an die Seitenwände des Bauches nach hinten geschlagen und die Hinterbeine gegen den Rücken gezogen, so dass die Oberschenkel rechtwinklig vom Körper abstehen und die Unterschenkel in Flexion sich befinden, wodurch sich die Fusswurzeln beider Extremitäten auf dem Rücken berühren; diese Stellung wird, wenn man die Hinterschenkel gewaltsam streckt, sobald der Zug nachlässt, sofort wieder angenommen. Das Athmen wird erst beschleunigt, dann aber verlangsamt und ist mit Beschwerden verbunden. Es entstehen weiter flimmernde Muskelzuckungen; dieselben werden am stärksten und dauern am längsten in den hinteren Extremitäten, jedoch nehmen auch die anderen Extremitäts- und Rumpfmuskeln an den flimmernden Zuckungen Theil. Nach 30—60 Minuten sind diese Erscheinungen verschwunden, es bleibt nur eine gewisse Mattigkeit und Muskelschwäche zurück; 3—6 Stunden später kann man selbst mit der grössten Aufmerksamkeit keine Nachwirkung des Giftes mehr wahrnehmen. Der Frosch sieht wie ein vollkommen normaler aus.

Die Wirkung einer grösseren Gabe tritt schneller ein und dauert bedeutend länger. Fast momentan nach der Einspritzung entstehen heftige klonische Krämpfe, dann Unbeweglichkeit des Frosches, die für das Nicotin

charakteristische Lage der Extremitäten, Athembeschwerden und Verlangsamung der Athmung bis zum Stillstand ohne vorausgehende Beschleunigung; starke und langdauernde flimmernde Zuckungen, bedeutende Herabsetzung der Reflexerregbarkeit auf elektrischen Hautreiz, dann Erschlaffung der gesammten Musculatur und allgemeine Lähmung. Je nach der Gabe bleiben die Frösche verschieden lange gelähmt: nach $^1/_{60}$ bis $^1/_{40}$ Tropfen — 12 bis 20 Stunden lang, nach $^1/_{20}$—$^1/_{10}$ Tropfen — 20 bis 40 Stunden. Die Erholung fängt immer mit der Restitution der Athmung an, indem die Frösche mit grösster Beschwerde, oft mit stark offenem Maule tiefe, seltene Athemzüge machen; dann erst entstehen schwache Muskelbewegungen, auch wird die Reflexerregbarkeit allmählich wieder zu der Norm erhöht. Ausnahmslos haben sich die Frösche nach allen Gaben, die ich angewandt habe (bis 0·1 Tropfen), im Laufe des zweiten Tages vollständig erholt, und wenn man nach dem Aeusseren urtheilt, so scheinen sie gänzlich entgiftet zu sein und zeigen in ihrem ganzen Verhalten nicht die geringsten Zeichen irgend welcher Abnormitäten.

Werden nun jetzt dieselben Frösche, gleichgiltig ob sie mit kleinen oder grossen Gaben vergiftet waren, einige Stunden nachdem sie sich erholt haben, mit derselben, oder mit grösseren Gaben wieder vergiftet, so bleiben bei den allgemeinen Vergiftungserscheinungen die Krämpfe und die flimmernden Zuckungen gänzlich aus; dagegen wird aber die lähmende Wirkung der Gaben von gleicher Grösse, bei wiederholter Vergiftung eine viel länger dauernde und kann sogar zum Tode führen. Mit sehr geringen Ausnahmen starben alle Frösche bei wiederholter Einspritzung von 0·1 Tropfen, oft auch noch $^1/_{20}$ Tropfen, was jedoch gewöhnlich nicht der Fall zu sein pflegt.

Die ferneren Versuche zeigten, dass, um bei wiederholten Vergiftungen wieder alle gewöhnlichen Vergiftungssymptomen auftreten zu sehen, also auch die klonischen Krämpfe und die flimmernden Muskelzuckungen, die Frösche eine längere Erholungszeit nöthig haben, welche wieder auch, je nach der Gabe, verschieden ist: 3—4 Tage nach kleineren Gaben und 6—8 Tage nach grösseren.

Nun war zu prüfen, worin der Grund zu dieser Verschiedenheit in der Wirkung bei wiederholten Gaben zu suchen ist.

Schon von vorne herein ist so viel klar, dass die Annahme einer Gewöhnung des Organismus an das Gift zur Erklärung dieser Thatsachen nicht ausreicht, in diesem Falle sollten alle Erscheinungen in ihrer Stärke einfach gemildert sein, während in Wirklichkeit einige Vergiftungssymptome einen viel intensiveren Charakter annehmen, indem bei kleineren Gaben die Lähmung längere Zeit dauert, während die zu-

erst nur dauernde Lähmung bewirkenden Gaben bei Wiederholung immer den Tod herbeiführen.

Es stellten sich zwei Fragen entgegen. Zuerst, worin der Grund zu der stärkeren Wirkung der wiederholten Gaben von derselben Grösse liege, und zweitens, auf was beruht die Verschiedenheit der Vergiftungserscheinungen selbst, das Fehlen der Krämpfe und flimmernden Zuckungen?

Wenn man das Verhalten des Herzens während einer gewöhnlichen Vergiftung mit dem Verhalten während wiederholten Vergiftungen vergleicht, so sieht man einen solchen Unterschied in den Erscheinungen, dass mit der grössten Wahrscheinlichkeit in diesem anderen Verhalten des Herzens die Erklärung der stärkeren Wirkung des Nicotins bei wiederholter Anwendung zu suchen ist.

Wie bekannt (Traube, Rosenthal), reizt das Nicotin in erster Linie die Herzvagusendigungen — es folgt ein kurz dauernder Herzstillstand, beträchtliche Verlangsamung der Herzschläge, dann aber wird der Herzvagus vollständig gelähmt, der Pulsschlag wird beschleunigt. Bevor aber die Herzthätigkeit wieder zu der früheren Norm zurückkehrt, entsteht noch eine vorübergehende Verlangsamung des Pulses (während die Nn. vagi gelähmt sind), welche je nach der Gabe grösser oder kleiner wird, nur kurz dauernd oder längere Zeit fortbesteht, auch die einzelnen Herzcontractionen werden geschwächt.

Diese zweite Verlangsamung hängt von der Lähmung der motorischen Herzganglien ab, da sie auch dann entsteht, wenn die Nn. vagi durchschnitten oder ihre Endigungen vorher gelähmt worden sind, und bevor dieselben wieder reizbar werden, wovon man am besten an atropinisirten Fröschen sich überzeugt. Bei solchen Fröschen fehlt die erste Nicotinwirkung. Es tritt weder Stillstand des Herzens oder die erste Pulsverlangsamung ein, nach Beschleunigung der Herzschläge; die Nicotinwirkung kann jetzt nur als herzschwächende Wirkung zu Tage treten.

Einige Minuten nach der Vergiftung sieht man eine Schwäche der Herzthätigkeit und Verlangsamung des Pulses eintreten (Versuch VIII). Doch ist diese Lähmung der motorischen Herzganglien nicht eine bedeutende, und der Tod erfolgt nie durch Herzlähmung (Rosenthal, Traube, Kroker). Anders verhält sich das Herz bei wiederholten Nicotinvergiftungen. Gleichgiltig, ob wir die kleinsten wirkenden Nicotingaben injicirten oder grössere, bei wiederholter Anwendung haben sie alle eine viel stärkere Wirkung auf die motorischen Herzganglien. Diese Wirkung tritt rasch ein und bleibt nach kleinen Gaben mehrere Stunden, nach grösseren bis zu dem Tode fortbestehen. Ich führe hier einige

von meinen Versuchen an, um diese Verhältnisse übersichtlicher zu zeigen.

Versuch I und II.

Rana esculenta wird auf einem Froschbrett aufgespannt und gefenstert; 20 Minuten nach der Operation wird die Pulsfrequenz gezählt.

Zeit.	Herzcontractionen in 15 Sec.	Bemerkungen.
h m		
10 —	16. 16. 15. 16.	
10 15	15. 16. 16. 16.	
10 30	16. 16. 15. 15.	

Es werden jetzt subcutan $^1/_{20}$ Tropfen Nicotin unter die Rückenhaut injicirt (0·5 c. c. Wasser).

Zeit.	Herzcontractionen in 15 Sec.	Bemerkungen.
Gleich nachher	Stillstand 20 Sec.	
10 32	6. 8. 15. 16.	
10 34	18. 18. 17. 18.	
10 36	19. 18. 18. 17.	
10 40	15. 13. 13. 12.	
10 45	11. 12. 12. 11.	
10 55	12. 11. 12. 12.	Das Herz ist mit venösem Blut stark gefüllt, die Herzcontractionen scheinen ein wenig schwächer zu sein.
11 10	13. 14. 14. 14.	
11 25	14. 14. 14.	
11 40	14. 14. 13. 14.	
12 10	15. 15. 14. 15.	Die Herzcontractionen sind wieder normal stark.
12 30	15. 16. 16.	
1 30	16. 15. 16. 16.	
2 30	16. 16. 16.	
u. s. w	u. s. w.	

Rana esculenta wird wie die erste präparirt; vor 40 Stunden war sie mit $^1/_{20}$ Tropfen Nicotin vergiftet und schon seit 15 Stunden hat sie sich vollständig erholt und zeigt keine Spur von irgend welchen Vergiftungserscheinungen.

Zeit.	Herzcontractionen.	Bemerkungen.
h m		
10 —	15. 14. 15. 15.	Die Herzcontractionen zeigen in ihrer Stärke und in rhythm. nichts anormales.
10 15	15. 15. 15. 15.	
10 30	14. 15. 14. 15.	

Es werden $^1/_{20}$ Tropfen Nicotin in 0·5 c. c. Wasser unter die Rückenhaut injicirt und gleich darauf

Zeit.	Herzcontractionen.	Bemerkungen.
	4. 2.	
	Stillstand 20 Sec.	
10 23	14. 14. 14. 13.	
10 34	13. 12. 13. 13.	Das Herz wird stark mit venösem Blut gefüllt.
10 36	12. 11. 11. 11.	
10 40	10. 11. 11. 11.	Die Herzcontractionen sind schwach.
10 45	10. 9. 10. 9.	
10 55	9. 9. 9. 9.	
11 10	9. 9. 9. 9.	
11 25	8. 9. 8. 8.	Die Herzcontractionen werden immer schwächer.
11 40	8. 8. 8. 8.	
12 10	8. 7. 8. 8.	
12 30	7. 8. 8. 7.	
1 30	8. 8. 8. 8.	
2 30	8. 7. 8. 9.	Sehr schwache Contractionen.
3 30	8. 9. 9. 8.	
4 30	9. 9. 10. 9.	
5 30	10. 9. 10. 10.	
6 30	10. 11. 10. 11.	
7 —	11. 10. 10. 11.	Die Herzcontractionen werden etwas stärker.

Versuch III und IV.

Versuch III: Rana esculenta präparirt wie die erten.

Zeit.	Herzcontractionen in 15 Sec.	Bemerkungen.
h m		
8 —	14. 14. 15. 14.	
8 15	15. 14. 15. 14.	
8 30	14. 14. 14. 15.	
Es werden 0·01 Tropfen Nicotin in 0·5 c. c. Wasser unter die Haut injicirt.		
	Stillstand 25 Sec.	
8 32	6. 8. 14. 16.	In der Stärke der einzelnen Herzcontractionen und in den Charakter derselben treten keine sichtbaren Veränderungen ein.
8 34	17. 18. 18.	
8 36	16. 16. 16.	
8 40	15. 14. 14.	
8 45	14. 14. 14.	
8 55	13. 13. 13.	
9 10	13. 13. 12.	
9 30	15. 15. 15.	
10 —	15. 14. 15.	
u. s, w.	u. s, w.	

Versuch IV: Rana esculenta wurde vor 44 Stunden mit 0·01 Tropfen Nicotin in 0·5 c. c. Wasser vergiftet, seit 36 Stunden zeigt der Frosch nicht die geringsten Vergiftungssymptome.

Zeit.	Herzcontractionen in 15 Sec.	Bemerkungen.
h m		
8 —	16. 16. 15. 16.	
8 15	16. 15. 16.	
8 30	16. 16. 16.	
Es werden 0·01 Tropfen Nicotin in 0·5 c. c. Wasser unter die Haut injicirt.		
	Stillstand 35 Sec.	
8 32	4. 14. 14.	
8 34	14. 14. 14.	
8 36	14. 14. 14.	
8 40	14. 14. 14.	
8 45	14. 14. 13.	
8 55	13. 14. 13.	
8 10	12. 12. 12.	
9 30	9. 9. 9.	Die Herzcontractionen sind bedeutend geschwächt
10 —	9. 8. 9.	
11 —	9. 9. 9.	
12 —	9. 9. 9.	
1 —	9. 10. 9.	
2 —	10. 10. 9.	
3 —	10. 10.	
4 —	12. 12. 12.	
5 —	12. 13. 12.	
6 —	13. 12. 13.	

Versuch V und VI.

Versuch V.

Rana esculenta präparirt wie die übrigen Frösche.

Zeit. h m	Herzcontractionen in 15 Sec.	Bemerkungen.
9 —	17. 17. 17. 16.	
9 15	16. 16. 16. 16.	
9 30	16. 16. 16.	

Es werden 0·1 Tropfen Nicotin in 0·5 c. c. Wssser unter die Haut injicirt.

Zeit.	Herzcontractionen in 15 Sec.	Bemerkungen.
	Stillstand 40 Sec.	
9 32	2. 2. 4. 10.	
9 34	19. 19. 18. 19.	
9 36	18. 18. 17. 18.	
9 40	14. 14. 13. 14.	
9 45	13. 13. 13. 13.	
10 —	12. 12. 11. 11.	
10 10	11. 10. 11. 10.	
10 30	10. 10. 10. 10.	Bedeutende Herzschwäche. (10 30 – 2 30)
10 40	10. 10. 10. 10.	
11 10	10. 9. 10. 9.	
11 45	9. 9. 9. 9.	
12 30	8. 9. 9. 9.	
1 30	9. 10. 10. 9.	
2 30	10. 10. 10.	
3 30	10. 10. 11.	
4 30	11. 11. 12.	
5 30	13. 13. 14.	Das Herz schlägt viel stärker und erholt sich sichtbar. (5 30 – 7 —)
6 30	16. 15. 15.	
7 —	15. 15. 15.	Das Herz wird mit der Haut zugedeckt.

Nach 42 Stunden trat eine bedeutende Erholung in dem allgemeinen Befinden des Frosches ein. Er hüpft und athmet wie ein normaler. Erst gegen Ende des dritten Tages starb der Frosch in Folge der Operation.

Versuch VI.

Rana esculenta wurde vor 4 Tagen mit 0·1 Tropfen Nicotin in 0·5 c. c. Wasser vergiftet. Seit mehr als 48 Stunden zeigt der Frosch keine Vergiftungserscheinungen mehr.

Zeit. h m	Herzcontractionen in 25 Sec.	Bemerkungen.
9 —	16. 15. 16.	
9 15	15. 15. 16.	
9 30	16. 15. 15.	

Es werden 0·1 Tropfen Nicotin in 0·5 c. c. Wasser unter die Haut injicirt.

Zeit.	Herzcontractionen in 25 Sec.	Bemerkungen.
	Stillstand 55 Sec.	
9 32	14. 17. 14.	
9 34	14. 13. 13.	
9 36	13. 13. 13.	
9 40	11. 11. 11.	Die Herzcontractionen sind schon geschwächt. (9 40 – 10 —)
9 45	11. 11. 11. 11.	
10 —	9. 9. 10. 9.	
10 10	9. 9. 9.	
10 30	8. 7. 7. 7.	
10 40	7. 7. 7. 7.	
11 10	5. 6. 6.	Ganz schwache Herzcontractionen. (11 10 – 2 30)
11 45	5. 5. 5.	
12 30	5. 5. 6.	
1 30	6. 6. 5.	
2 30	6. 5. 5.	
3 30	6. 6. 5. 5.	
4 30	5. 6. 5. 5.	
5 30	6. 6. 5.	Die Herzcontractionen sind kaum merkbar, ganz oberflächlich. (5 30 – 8 —)
6 30	5. 5. 6.	
7 30	6. 5. 6.	
8 —	6. 5. 5.	Das Herz wird mit den Hautlappen zugedeckt.

Am anderen Morgen ist der Frosch todt, das Herz im erschlafften Zustande im Stillstande.

Versuch VII und VIII.

Rana esculenta präparirt, wie die ersten Frösche.

Zeit. (h m)	Herz-contractionen in 15 Sec.	Bemerkungen.
10 20	14. 13. 14.	
10 30	14. 14. 14.	
10 40	14. 14, 13.	

Es werden 0·1 Tropfen Nicotin in 0·5 c. c. Wasser unter die Rückenhaut injicirt, es folgt unmittelbar nach der Einspritzung ein Herzstillstand von 35 Sec. Dauer.

Zeit. (h m)	Herz-contractionen in 15 Sec.	Bemerkungen.
10 42	16. 15. 16.	
10 45	14. 14. 14.	Das Herz wird stark mit venösen Blut überfüllt.
10 50	14. 14. 14.	
10 55	14. 12. 13.	
11 10	11. 11. 11.	
11 20	10. 9. 9.	
11 40	8. 8. 8.	Die Herzcontractionen werden ein wenig schwächer.
12 —	8. 8. 8.	
1 —	8. 9. 8.	
1 30	10. 10. 9.	
2 —	11. 10. 11.	Die Herzcontractionen werden wieder stärker.
u. s. w.	u. s. w.	

Rana esculenta präparirt wie gewöhnlich und dann mit 0·0005 grm Atropinsulf. vergiftet.

Zeit. (h m)	Herz-contractionen in 15 Sec.	Bemerkungen.
8 30	17. 17. 16.	

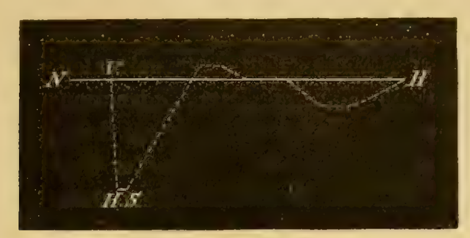
Es werden 0·1 Tropfen Nicotin in 0·5 c. c, Wasser unter die Rückenhaut injicirt, es folgt kein Herzstillstand.

Zeit. (h m)	Herz-contractionen in 15 Sec.	Bemerkungen.
8 31	17. 16. 17.	
8 33	16. 17. 16.	Das Herz wird stark mit Blut ausgedehnt.
8 35	14. 14. 15.	
8 40	13. 13. 13.	
8 45	13. 13. 13.	
8 55	13. 12. 13.	
9 10	11. 11. 10.	
9 20	9. 8. 8.	Die Herzcontractionen werden bedeutend geschwächt.
9 30	8. 8. 7.	
9 40	7. 8. 8.	
10 —	8. 9. 8.	
11 —	10. 10. 9.	
u. s. w.	u. s. w.	

Die beiden Frösche erholten sich am anderen Morgen.

Wenn man diese verschiedenen Verhältnisse des Herzens zum Nicotin graphisch darstellen wollte, so würde man folgende drei Curven zu zeichnen haben:

I. Die gewöhnliche Nicotinvergiftung.



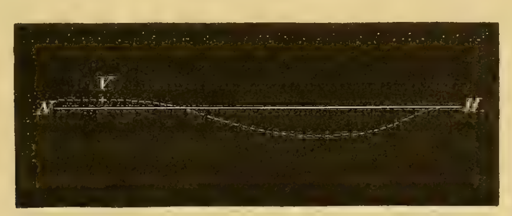
N. H. Normaler Herzschlag.
V. Nicotinvergiftung.
H. S. Herzstillstand.
Die punctirte Linie zeigt annähernd die Veränderungen in der Pulsfrequenz.

II. Wiederholte Nicotinvergiftung.



Dieselben Buchstaben haben dieselbe Bedeutung wie oben.

III. Nicotinvergiftung nach vorausgehender Atropinisirung.



Dieselben Buchstaben haben dieselbe Bedeutung wie oben.

Alle diese Curven sind nur ein annäherndes Bild der Herzverhältnisse, je nach der Art der Nicotinvergiftung.

Aus diesen und ähnlichen Versuchen ersieht man, dass dieselbe Gabe, welche gewöhnlich nur eine ganz geringe herzlähmende Wirkung hat, indem die Herzcontractionen nur auf einige Schläge in der Minute und für eine kurze Zeit verlangsamt werden, bei wiederholter Anwendung (innerhalb oben angezeigter Zeit), auch wenn die nachfolgenden Gaben kleiner waren als die ersten, eine mehrere Stunden dauernde, viel grössere lähmende Wirkung ausüben und die Frequenz der Herzschläge bedeutend, etwa bis auf die Hälfte der normalen herabsetzen; gleichzeitig werden auch die einzelnen Herzcontractionen ganz beträchtlich geschwächt. Bei grösseren Gaben erfolgt sogar keine Herzerholung mehr, wie es sonst gewöhnlich bei diesen Gaben der Fall ist. Der Tod tritt unter einer immer mehr zunehmenden Herzschwäche ein. Wir sehen übrigens, dass auch die gewöhnliche herzbeschleunigende Wirkung des Nicotins fehlt, obwohl die Nn. vagi wie immer erst gereizt, dann gelähmt werden, ein Beweis, dass der Vagustonus noch nicht restituirt ist. Aus diesen Beobachtungen kann man nur den Schluss ziehen, dass die motorischen Herzganglien in der Zeit der zweiten Vergiftung noch nicht gänzlich giftfrei sind; sie bleiben noch immer unter einer gewissen Nicotinwirkung, welche ihre Widerstandskraft bedeutend gemindert hat und gegen dieselben Gaben viel empfindlicher macht.[1]

In diesem Verhalten des Herzens zu den wiederholten Nicotingaben finden wir auch die Erklärung ihrer weit stärker lähmenden, oder sogar lethalen Wirkung.

Dass nach Nicotinvergiftungen bald Erholung eintritt, hat wohl seinen Grund darin, dass die Blutcirculation nicht für längere Zeit und nicht wesentlich gestört wird, wodurch die Giftmenge aus dem Organismus austreten kann und die angegriffenen Nervencentren von dem Gifte befreit werden können. Das Thier fängt an zu athmen und die Erholung folgt bald darauf. Wenn jedoch die Herzthätigkeit, während alle anderen Momente dieselben sind, schwächer wird, so muss die Ausscheidung des Giftes viel mehr Zeit in Anspruch nehmen, wie auch die allgemeine lähmende Wirkung des Giftes viel längere Zeit dauern; ebenso wird endlich bei noch grösserer und länger dauernder Herzschwäche (bei wiederholten grossen Gaben) der Tod der Nervencentren früher eintreten, bevor die gesammten Giftmengen aus dem Organismus entfernt worden sind. Demnach erkläre ich die stärkere und lethale Wirkung

[1] Vielleicht dürfte folgender Ausdruck der treffende sein: das Herz befindet sich noch unter der Wirkung der ersten Gabe, wie in einer latenten Lähmung und diese bedarf nur eines kleinen Anstosses, um als eine sichtbare active hervorzutreten.

der wiederholten, zum ersten Male schwächer wirkenden und zum Tode nicht führenden Nicotingaben damit, dass die Ausscheidung des Giftes, in Folge einer viel grösseren Herzschwäche, weit langsamer und in kleineren Mengen zu Stande kommt. Die Herzschwäche ist also der indirecte Grund des Todes.

Die zweite Frage, die Verschiedenheit der Vergiftungserscheinungen, das Fehlen der Krämpfe und der flimmernden Zuckungen, ist eine viel schwierigere und es gelang mir bis jetzt noch nicht, sie in einer bestimmten Weise zu entscheiden.

Zunächst suchte ich den Charakter der Krämpfe und der flimmernden Muskelzuckungen kennen zu lernen. Ich suchte zu constatiren, ob die Krämpfe auf reflectorischem Wege entstehen, oder ob sie von einem directen Reiz der motorischen Rückenmarkscentren abhängen, und zwar ob sie in einem bestimmten Nervencentrum ihre Ursache haben, oder ob das ganze Rückenmark an den Krämpfen Theil nimmt.

Gewöhnlich sind die Nicotinkrämpfe klonische Krämpfe, selten Streck- und noch seltener tetanische Krämpfe. Sie entstehen immer sehr bald, fast unmittelbar nach der Vergiftung und dauern nur eine ganz kurze Zeit. Einige Krämpfe der Extremitäten (in den Hinterbeinen immer am stärksten) oder ein, zwei Streckkrämpfe, dann nehmen die Beine ihre für das Nicotin charakteristische Lage ein, es zeigt sich Verlust der willkürlichen Bewegungen und eine starke Verminderung der Reflexerregbarkeit, sowie eine immer zunehmende Muskelschwäche, bis endlich die allgemeine Lähmung eintritt. Die flimmernden Muskelzuckungen fehlen nie. Sie treten immer später ein als die Krämpfe und noch bevor die Reflexe herabgesetzt sind und die Muskelschwäche eintritt. In ihrer Stärke und Dauer sind sie wesentlich von der Grösse der Gabe abhängig.

Schon das Bild der Vergiftung und der Krämpfe spricht gegen die reflectorische Natur der Krämpfe. Die äusseren Reize haben auf die Krämpfe gar keinen Einfluss, indem sie weder entstehen noch stärker werden nach peripheren Reizen. Auch werden die Hautreflexe nach Nicotin überhaupt entweder nicht erhöht, oder nur nach kleinen Nicotingaben unbedeutend und nur vorübergehend. Sodann ist auch der klonische Charakter der Krämpfe nicht der Charakter der reflectorischen Krämpfe, welche viel mehr tetanischer Natur sind; auch spricht der Umstand, dass die künstliche Athmung keinen Einfluss auf sie hat (Uspensky)[1], dafür, dass Nicotin die motorischen Nervencentren direct reizt.

Nachdem Rosenthal[2] bewiesen hat, dass die fibrillären Zuckungen

[1] *Dies Archiv*, 1868.

[2] *Centralbl. f. d. med. Wissensch.* 1863.

von der Reizung der intramusculären Nervenendigung abhängen, sind dieselben von Allen nur als periphere betrachtet. Sie entstehen in Gliedern mit durchschnittenen Nerven, und sollen fehlen in den Muskelgruppen, deren blutleitende Gefässe unterbunden werden.

Einige von meinen Beobachtungen erregten in mir einen grossen Zweifel über diesen Ursprung der flimmernden Zuckungen, so dass ich nahe daran war, das gerade Gegentheil zu behaupten. Es schien mir nämlich, dass bei Fröschen, mit vom Rückenmark abgetrenntem verlängertem Mark, keine flimmernden Zuckungen nach der Vergiftung eintreten. Ich wiederholte die Versuche immer wieder mit der grössten Aufmerksamkeit, konnte die flimmernden Zuckungen aber nicht bemerken. Bekanntlich sind die flimmernden Zuckungen nach der Nicotinvergiftung so intensiv, dass man sie sehr deutlich bei allen Muskeln durch die unverletzte Haut hindurch sehen kann; deswegen entblösste ich gewöhnlich, um sie zu beobachten, die Muskeln nicht. Als ich meine Versuche Hrn. Professor Rosenthal demonstrirte, machte er mich auf diesen Umstand aufmerksam, und so konnte ich mir nunmehr meine abweichenden Beobachtungen erklären. Bei Wegnahme der Haut des Oberschenkels sieht man in der That sehr schwache flimmernde Zuckungen hier und da eintreten; sie sind sehr schwach, nur kurz dauernd, jedoch unterliegt ihr Vorkommen keinem Zweifel. Ebenso konnte ich constatiren, dass diese flimmernden Zuckungen nicht allein diejenigen sind, welche wir immer bei Nicotinvergiftungen eintreten sehen. Sie sind so schwach, dass man sie durch die unverletzte Haut nicht merken kann, ja sogar in blossgelegten Muskeln leicht übersehen kann. Die letzteren dagegen sind viel stärker; gewöhnlich fangen sie in einigen Muskelfasern an und verbreiten sich dann, an Stärke immer mehr zunehmend, auf eine ganze Muskelgruppe, um zuweilen in einen Krampf überzugehen. Wenn die ersten nur als rein fibrilläre Zuckungen anzusehen sind, so können die letzteren als Anfangsstadium eines Krampfes betrachtet werden. Ich will nicht damit sagen, dass die flimmernden Zuckungen, von denen ich jetzt spreche, immer in einen Krampf übergehen müssen, im Gegentheil ist es meistentheils nicht der Fall (wie bekannt, entstehen die flimmernden Zuckungen überhaupt erst nach den Krämpfen), sondern man bekommt nur den Eindruck, als ob jedesmal ein Krampf sich einstellen sollte. Ich möchte sagen, dass diese flimmernden Zuckungen die letzten Effecte der Reizung des schon in die Lähmung übergehenden Rückenmarks sind.

Schon aus diesen Versuchen vermuthete ich, dass die flimmernden Zuckungen, welche wir gewöhnlich ohne Vorsichtsmaassregeln bei Nicotin-

vergiftungen beobachten, keine peripheren sind, sondern einen cerebralen Ursprung haben. Folgende Versuche haben es auch bewiesen.

Die flimmernden Muskelzuckungen sollen nicht auftreten, wenn sie nur auf einer Erregung der intramusculären Nervenendigungen beruhen, bei unterbrochenem Blutlaufe in den Muskeln, wo der Blutlauf ausgeschlossen ist, dagegen nach Nervendurchschneidung sollen dieselben unbeeinflusst bleiben. Umgekehrt soll es sein, wenn sie von einer centralen Erregung abhängen.

Versuch I.

Eine Rana esculenta wird auf einem Froschbrette ausgespannt; die linke A. iliaca comm. unterbunden, ohne Verletzung des N. ischiadicus. Einspritzung unter die Rückenhaut von $^1/_{20}$ Tropfen Nicotin in $0 \cdot 5^{cc}$ Wasser. 4 Minuten nach der Einspritzung treten die flimmernden Zuckungen in den beiden Hinterbeinen auf, und zwar sind sie wie in der Stärke, so auch in ihrer Dauer auf den beiden Seiten ganz gleich.

Da man vielleicht eine collaterale Blutcirculation vermuthen konnte, habe ich auch die Aorta abdominalis unterbunden, um mich von der Thatsache ganz zu vergewissern.

Versuch II.

Bei einen Rana esculenta wurde die Aorta abdominalis unterbunden, und dann $^1/_{20}$ Tropfen Nicotin in $0 \cdot 5^{cc}$ Wasser unter die Rückenhaut injicirt. 3 Minuten später traten flimmernde Zuckungen in beiden hinteren Extremitäten auf, von der bei diesen Gaben gewöhnlichen Stärke und Dauer.

Diese Versuche könnten vielleicht einen genügenden Beweis der centralen Natur der flimmernden Zuckungen liefern, allein mit welcher Vorsicht man diese Methode der Untersuchung nur annehmen darf, sehen wir aus folgenden Versuchen.

Versuch III.

Einem Frosch wurden alle Zweige des Plex. ischiadicus im Becken durchschnitten, dann $^1/_{20}$ Tropfen Nicotin in $0 \cdot 5^{cc}$ Wasser unter die Rückenhaut injicirt; 6 Minuten darauf sieht man im entblössten Oberschenkel hier und da sehr schwache flimmernde Zuckungen eintreten, sie verschwinden fast augenblicklich, um wieder auf einer anderen Stelle aufzutreten. Auf der anderen Seite mit unverletzten Nerven sind die flimmernden Zuckungen wie immer bei Nicotinvergiftung stark und dauernd.

Viele Versuche mit Rückenmarck-Durchschneidungen ergaben, dass sobald das verlängerte Mark von dem Rückenmark abgetrennt ist, nur diese äusserst schwachen und kurz dauernden Zuckungen auftreten, dagegen diejenigen, welche wir gewöhnlich beobachten, vollständig fehlen.

Diese Versuche beweisen uns, dass 1) die vom Nicotin herrührenden flimmernden Muskelzuckungen nicht allein peripher sind. Sie sind vielmehr eine Summe von centralen und peripheren. Die ersten sind stärker, dauernder und sind diejenigen, welche man gewöhnlich für flimmernde Zuckungen der Nicotinvergiftung hält, sie fallen sofort jedem Beobachter auf, und sind ganz deutlich durch die unverletzte Haut zu sehen. Die zweiten dagegen sind sehr leicht zu übersehen, um sie wahrzunehmen ist es erforderlich, dass man die Muskeln blosslegt und aufmerksam beobachtet. 2) Die Erregung, welche die centralen flimmernden Zuckungen veranlasst, stammt aus dem verlängerten Mark.

Zur Beantwortung der Frage, ob die Nicotinkrämpfe von der Reizung bestimmter Centren, oder von der Reizung der ganzen Rückenmarks abängen, habe ich mehrere Versuchsreihen angestellt, aus welchen ich folgende Ergebnisse festgestellt habe. 1) die Trennung des Rückenmarks mit dem verlängerten Mark von dem Grosshirn bleibt ohne Einfluss auf die Nicotinkrämpfe. 2) Dasselbe gilt auch für das Abtrennen des Rückenmarks von dem verlängerten Mark. 3) Auch wenn man das Rückenmark immer 2,3 ^{mm} weiter von dem verlängerten Mark abschneidet, entstehen doch die Krämpfe (nur schwache), wie in den oberen so auch in den hinteren Extremitäten, und 4) nur dann, wenn man den Schnitt, unter der Stelle, wo die motorischen Nerven zu den Hinterbeinen verlaufen, führt, entstehen keine Krämpfe in den gelähmten Hinterbeinen. Das Durchschneiden des halben Rückenmarks zeigte auch, dass nur dann, wenn die motorischen Bahnen unterbrochen werden, auch die Krämpfe der entsprechenden Seite fehlen. Damit soll der Beweis geliefert sein, dass die Nicotinkrämpfe von der Reizung des ganzen Rückenmarks abhängen.

Kehren wir nun zu unserer eigentlichen Frage zurück. Da wir gesehen haben, dass die Frösche bei der scheinbaren Erholung nach der Vergiftung, auch wenn sie nicht die geringsten Zeichen von irgend welchen Störungen in ihrem gesammten Verhalten bieten, trotzdem andere Erscheinungen nach wiederholten (während einer gewissen Zeit) Vergiftungen mit beliebig grossen Gaben zeigen, da die Krämpfe und die fibrillären Zuckungen stets fehlen, so ist ohne Zweifel damit bewiesen, dass die vollkommene Entgiftung noch nicht Statt gefunden hat, und dass noch gewisse Organe unter Nicotinwirkung verbleiben. Doch ist dieser Einfluss des Nicotins für gewöhnliche Functionen eines normalen

Lebens von geringer Wichtigkeit und scheint den Organismus nicht merkbar zu beeinflussen. Zur Erklärung dieser Erscheinungen schienen mir zwei Voraussetzungen am wahrscheinlichten. Meine Versuche über das Verhalten des Herzens zu den wiederholten Nicotinvergiftungen haben mit Sicherheit bewiesen, dass im Stadium der allgemeinen Erholung das Herz noch längere Zeit unter der Wirkung des Nicotins bleibt, welche durch eine gewisse Schwäche, eine geringere Resistenz der motorischen Herzganglien zu den wiederholten Nicotinvergiftungen sich kund giebt. Könnte dasselbe nicht auch in den motorischen Rückenmarkscentren statthaben? Eine Analogie in dem Verhalten der motorischen Herzganglien und der motorischen Rückenmarkscentren wäre wohl möglich und hätte uns die genügende Erklärung zu unseren Erscheinungen gegeben. Es wäre ja denkbar, dass die motorischen Rückenmarkscentren, vielleicht auch der gesammte motorische Nervenapparat, ebenso wie die motorischen Herzcentren, auch nach der scheinbar vollständigen Erholung des Frosches, noch in der Weise geschwächt sind, dass sie zwar eine Zeit nach der Vergiftung schon ihre gewöhnliche Thätigkeit wieder aufnehmen können, aber nicht im Stande sind, eine ausserordentliche, anstrengende Thätigkeit, wie die Nicotinkrämpfe, welche schon gewöhnlich eine rasche Erschöpfung der motorischen Centren zu Folge haben, ertragen können.

Die zweite Voraussetzung besteht darin, dass es vielleicht möglich wäre, dass die motorischen Nervenapparate nach wiederholter Vergiftung ganz ausserordentlich schnell in die Lähmung übergehen, so dass der Reizmoment ganz und gar ausbleiben muss.

Wie die eine, so auch die andere Vermuthung verlangen genaue Versuche über das Verhalten der Nervenerregbarkeit, während der ersten Vergiftung, im Stadium der allgemeinen Erholung und nach der wiederholten Nicotinanwendung.

Unsere Untersuchungsmethoden des Nervensystems überhaupt und der Nervencentren insbesondern sind noch so unvollkommen, dass man nicht einmal die einfachsten Fragen aus diesen Gebiete auf wirklich genaue Weise untersuchen kann.

Meine Hauptfrage knüpfte sich an das verschiedene Verhalten (wenn ein solches in der That vorhanden ist) der motorischen Rückenmarkscentren zu den verschiedenen Vergiftungsweisen mit Nicotin. Und nur das einzige Mittel hatte ich dazu, — die Prüfung der Erregbarkeit des centralen Ende eines gemischten Nerven (Ischiadicus.) Ich konnte also nur die Reflexerscheinungen, das Verhalten der sensiblen Nerven und der motorischen Nervenendigungen beobachten und nur indirect auf das Verhalten der motorischen Centren Schlüsse ziehen. Ich brauche nicht zu erwähnen, dass alle Vorsichtsmaassregeln bei diesen Versuchen ge-

troffen wurden. Ich benützte stets dieselbe Thermosäule, dieselben Drähte und denselben du Bois-Reymond'schen Inductionsapparat. Alle Frösche wurden vor dem Versuch einige Stunden in das Versuchszimmer gebracht, um den Einfluss der verschiedenen Temperaturen auf die Nervenreizbarkeit auszuschliessen. Auf eine möglichst gleiche Temperatur in dem Versuchszimmer und auf Verhütung des Eintrocknens der untersuchten Nerven wurde stets gesehen.

Einfluss des Nicotins auf die motorischen und sensiblen Nerven.

Versuch I.

Rana esculenta auf bekannte Weise präparirt; der N. ischiadicus in der Mitte des Oberschenkels unter Schonung der Gefässe freigelegt, unterbunden, durchschnitten und bald die peripheren, bald die centralen Enden desselben mit Inductionsströmen gereizt. Die minimalen Zuckungen nach den Reizungen werden als Maassstab der Nervenerregbarkeit angenommen.

Zeit. h m	Die minimale Zuckung erfolgte bei:	Periph. Ende.	Central. Ende.
8 40	„ „ „ „ „	60·0	61·0
8 50	„ „ „ „ „	59·5	60·8
9 50	„ „ „ „ „	60·3	60·4
	Es werden $^1/_{20}$ Tropfen Nicotin unter die Haut injicirt		
9 05	„ „ „ „ „	67·0	60·0
9 10	„ „ „ „ „	65·4	50·0
9 15	„ „ „ „ „	60·0	43·5
9 25	„ „ „ „ „	52·7	32·2
9 35	„ „ „ „ „	41·9	20·3
9 55	„ „ „ „ „	33·0	14·0
10 20	„ „ „ „ „	28·0	11·8
11 20	„ „ „ „ „	27·0	10·0
12 20	„ „ „ „ „	26·2	10·5
	16 Stunden nach der Vergiftung während der fast vollkommenen Erholung.		
16 nach der Vergift.	„ „ „ „ „	58·0	42·8
20 „	„ „ „ „ „	58·4	47·0

Wir sehen aus diesem Versuche, dass nach Anwendung von $^1/_{20}$ Tropfen Nocotin am ersten die sensiblen Fasern in ihrer Reizbarkeit herabgesetzt werden, die motorischen dagegen werden erst später, nach einer kurz dauernden Erhöhung, in ihrer Reizbarkeit geschwächt. Auch ist die

die sensiblen Nerven lähmende Wirkung des Nicotins viel stärker und anhaltender als die der motorischen. Wir sehen ferner, dass nach 16 Stunden nach der Vergiftung, während schon eingetretener bedeutender Erholung des Frosches, die motorischen Nerven sich fast vollkommen erholt haben, die sensiblen noch beträchtlich geschwächt sind. Es prävalirt also die centrale Nicotinwirkung über die periphere.

Versuch II.

Rana esculenta auf dieselbe Weise präparirt wie die erste.

Zeit. h m	Die minimale Zuckung erfolgte bei R. A.	Periph. Ende.	Central. Ende.
9 —	„ „ „ „ „ „	51.8	55·0
9 10	„ „ „ „ „ „	52·0	51·5
9 20	„ „ „ „ „ „	51·5	54·8
Es werden 0·1 Tropfen Nicotin in 0cc Wasser unter die Rückenhaut injicirt.			
9 25	„ „ „ „ „ „	53·0	50·0
9 30	„ „ „ „ „ „	50·0	47·2
9 35	„ „ „ „ „ „	47·6	43·0
9 45	„ „ „ „ „ „	39·5	20·2
10 —	„ „ „ „ „ „	37·2	12·8
11 —	„ „ „ „ „ „	26·0	10·7
12 —	„ „ „ „ „ „	22·0	9.0
1 —	„ „ „ „ „ „	20·5	kein Reflex.
Der Hautschnitt wird zugeflickt und dem Frosche 30 Stunden zur Erholung gegeben.			
31 später „	„ „ „ „ „	48·5	32·5
48 „ „	„ „ „ „ „	50·7	46·5
54 „ „	„ „ „ „ „	50·2	51·8
Jetzt wird der Frosch noch einmal mit 0·1 Tropfen Nicotin vergiftet.			
3 m nach der Vergift.	„ „ „ „ „	50·0	50·7
7 „ „	„ „ „ „ „	50·2	47·0
12 „ „	„ „ „ „ „	48·6	44·5
20 „ „	„ „ „ „ „	45·8	34·4
30 „ „	„ „ „ „ „	39·2	21·3
40 „ „	„ „ „ „ „	29·8	14·5
50 „ „	„ „ „ „ „	25·2	11·7

u. s. w.

Dieser Versuch ist mit den ersten in Uebereinstimmung, ferner zeigt er, dass im Stadium der allgemeinen Erholung, die periphere ebenso wie centrale Nervenerregbarkeit sich erholt; weiter ersieht man, dass die wiederholte Vergiftung nicht in einer anderen Weise die Nervenapparate beeinflusst wie die erste Vergiftung. Die lähmende Wirkung wird weder eine grössere, noch tritt sie schneller ein als nach der ersten Vergiftung.

Man könnte mir vielleicht den Vorwurf machen, dass im Laufe von 54 Stunden der geprüfte N. ischiadicus ganz andere Verhältnisse zu den elektrischen Reizen, in Folge des Absterbens, zeigen kann. Obgleich die Regelmässigkeit, mit welcher die Reizbarkeit des Nerven mit der eintretenden Erholung zunimmt und nach wiederholter Vergiftung wieder herabgesetzt wird, kaum zweifeln lässt, dass die molecularen Veränderungen im Laufe der 54 Stunden noch keineswegs gewaltig seien, so waren dennoch genauere Versuche wünschenswerth,

Ich versuchte die mittlere Stromstärke, welche erforderlich war um die minimalen Zuckungen bei meinen normalen Fröschen nach directen Reizen der motorischen Nerven und nach Reizungen der sensiblen hervorzurufen. Es ergab sich, dass die Differenzen bei meiner Versuchsanordnung nicht gross waren; sie schwankten zwischen 49·0 bis $62 \cdot 5^{cm}$ Abstand der secundären Rolle. Nachdem ich dies bei 14 Fröschen festgestellt hatte, vergiftete ich die Frösche mit Nicotin, ohne die Nervenerregbarkeit voraus zu prüfen, und prüfte sie erstens in verschiedenen Stadien der Erholung und dann an anderen Fröschen, welche sich schon vollständig nach der ersten Vergiftung erholt hatten, also je nach der Gabe, nach 20—64 Stunden, nach wiederholter Vergiftung. Es ergaben sich aus vielen Versuchen genau dieselben Verhältnisse, wie wir es im Versuch No. II gesehen haben. Im Zusammenhang mit der allgemeinen Erholung erholten sich auch die motorischen und sensiblen Nervenapparate. Die wiederholten Gaben beeinflussen die schon erholten Nerven ebenso wie die ersten. Ich führe hier noch einen Versuch an.

Versuch III.

Eine Rana esculenta wurde mit 0·1 Tropfen Nicotin in $0 \cdot 5^{cc}$ Wasser vergiftet; nach 40 Stunden erholt sich der Frosch vollständig. Nach 44 Stunden wurde der Frosch zum Versuch in bekannter Weise präparirt. Um die periphere Nicotinwirkung bei Reflexversuchen auszuschliessen, habe ich auf einer Seite die A. aliaca comm. unterbunden, und auf der anderen Seite den N. ischiadicus präparirt und durchschnitten.

Zeit. h m	Die minimalste Zuckung erfolgte bei R. A.	Periph. Ende.	Cent. Ende.
10 30	„ „ „ „ „ „	53·6	56·7
— 40	„ „ „ „ „ „	53·0	55·9
— 50	„ „ „ „ „ „	53·2	55·4
Es werden jetzt 0·1 Tropfen Nicotin unter die Rückenhaut injicirt.			
10 55	„ „ „ „ „ „	53·6	55·0
11 —	„ „ „ „ „ „	53·0	50·2
11 05	„ „ „ „ „ „	50·0	47·3
11 15	„ „ „ „ „ „	46·1	35·0
11 25	„ „ „ „ „ „	39·9	21·0
11 35	„ „ „ „ „ „	33·5	12·3
11 45	„ „ „ „ „ „	27·4	9·8
12 45	„ „ „ „ „ „	21·5	5·0

u. s. w.

Am anderen Morgen war der Frosch todt.

Die Ergebnisse meiner Versuche über das Nervenverhalten zu dem Nicotin sind kurz zusammengefasst folgende. 1) Das Nicotin wirkt lähmend wie auf die motorischen, so auch auf die sensiblen Nerven. 2) Die sensiblen Nerven werden früher und viel stärker und dauernder, als die motorischen Nerven angegriffen. 3) Nach Gaben bis 0·1 Tropfen sah ich nie eine vollständige Lähmung in den motorischen Nerven eintreten, wohl aber in den sensiblen, demnach ist die Nicotinwirkung mehr der Morphiumwirkung ähnlich, als der des Curare. 4) Die kleinen Gaben scheinen erst die motorischen Nerven vorübergehend zu erregen und erst dann ihre Reizbarkeit herabzusetzen. 5) Die wiederholten Gaben (wie ich sie angewandt habe) beeinflussen die beiden Nervenarten in allen Puncten gleich den ersten Gaben.

Aus diesen Ergebnissen sehen wir, dass das Verhalten des Nervensystems, soweit man es prüfen kann, nicht nur keinen Leitfaden zur Erklärung der Verschiedenheit der Vergiftungssymptome bietet, sondern die Frage noch dunkler macht, da die als möglich betrachtete Analogie in dem Verhalten der Rückenmarkscentren mit dem Verhalten der motorischen Herzcentren, sowohl wie meine zweite Voraussetzung als unbegründet fallen muss. Es könnte vielleicht noch denkbar sein, dass trotz des gleichen Verhaltens zu den elektrischen Reizen, sich die motorischen Rückenmarkscentren zu der reizenden Wirkung des Gifts in verschiedener Weise verhalten. Wenn dies der Fall wäre, so wäre möglicher Weise wahrscheinlich dieses andere Verhalten damit zu beweisen, dass man die nach der ersten Vergiftung erholten Frösche mit Strychnin oder Pikrotoxin

vergifte um zu sehen ob dieselbe minimale Gabe, welche von den Giften erforderlich ist, um Krämpfe bei gesunden Fröschen hervorzurufen, auch bei solchen Fröschen hinreichend ist.

Strychnin. Als minimale Gabe um den Reflextetanus hervorzurufen, habe ich bei meinen Fröschen die von 0·000035^{grm} bestimmt. Nach 20—25 Minuten nach der Einspritzung dieser Gabe erhöht sich die Reflexerregbarkeit und nach 35—45 Minuten folgt der erste Tetanus.

I. Versuchsreihe.

	Gesunde Frösche.	Nicotinisirte Frösche.
I.	R nach 18 Minuten	R nach 20 Minuten
	T „ 35 „	T „ 38 „
II.	R „ 22 „	R „ 21 „
	T „ 44 „	T „ 46 „
III.	R „ 24 „	R „ 20 „
	T „ 38 „	T „ 34 „
IV.	R „ 20 „	R „ 22 „
	T „ 45 „	T „ 40 „

Alle Frösche wurden mit 0·000035 Strychnin vergiftet. Die Frösche nach Nicotinvergiftung zeigten eine vollständige Erholung. R bedeutet erhöhte Reflexerregbarkeit; T den ersten Tetanus nach der Strychninvergiftung.

Wir sehen, dass alle Frösche, so gut die gesunden wie die nach Vergiftung mit Nicotin, wenn nur die allgemeine Erholung eingetreten ist, sich zu dem Strychnin genau in derselben Weise verhalten.

Pikrotoxin. Im Pikrotoxin besitzen wir ein Gift, welches die motorischen Rückenmarkscentren direct reizt (Roeber[1]), also wie das Nicotin auf dieselben Centren wirkt. Es war demnach interessant nachzusehen, ob im Stadium der Nicotinerholung, das Pikrotoxin, in den gleichen Gaben angewendet, zu gleicher Zeit und gleich intensive Krämpfe bei gesunden Fröschen und bei denen, welche vorher mit Nicotin vergiftet waren, hervorruft. Nach meiner Erfahrung ist die die Krämpfe bedingende Gabe des Pikrotoxin kleiner, als die welche Roeber bestimmt hatte. Ich fand, dass schon 0·0004^{grm} ausnahmslos sehr kräftige und dauernde Krämpfe hervorruft.

---

[1] *Dies Archiv*, 1869.

II. Versuchsreihe.

	Gesunde Frösche.	Nicotinisirte Frösche.
I.	Es folgten Krämpfe 16 m später	Es folgten Krämpfe 26 m später
II.	„ „ „ 24 „ „	„ „ „ 21 „ „
III.	„ „ „ 18 „ „	„ „ „ 20 „ „
IV.	„ „ „ 20 „ „	„ „ „ 19 „ „

Alle Frösche wurden mit 0·0004 Pikrototin vergiftet. In der Stärke der Krämpfe und in ihrer Dauer konnte ich keine Unterschiede wahrnehmen.

Auch die vergleichenden Versuche mit Pikrotoxin zeigten wie die mit Strychnin, dass die Frösche, welche nach den Nicotinvergiftungen sich erholt haben, und als ganz normale nach ihren äusseren Befinden zu betrachten sind, auch genau wie die in der That gesunden Frösche zu den beiden Giften sich verhalten. Allerdings konnte man in der Zeit, während welcher die nicotinlähmende Wirkung noch sichtbar war, und als Muskelschwäche, Trägheit in den Bewegungen sich ausdrückte, Differenzen in der Strychninwirkung sehr deutlich wahrnehmen. Dieselbe Gabe, welche bei gesunden Fröschen heftige tetanische Krämpfe verursachte, erhöhte bei solchen nicotinisirten Fröschen die Reflexe zwar sehr stark, jedoch sehr oft ohne deutliche tetanische Krämpfe hervorzurufen.

Damit beende ich diese meine Mittheilung. Alle meine Bemühungen, zu den fraglichen Erscheinungen eine Erklärung zu finden blieben, erfolglos. Alle meine Versuche beweisen nur, dass die Verschiedenheit des Verhaltens der Frösche zu den wiederholten Nicotinvergiftungen nicht etwa, wie wir es beim Verhalten des Herzens gesehen haben, auf eine schwache, kleinere Resistenz der motorischen Rückenmarkscentren oder der intramusculären Nervenendigungen beruhe (wenigstens können wir keinen Beweis dazu liefern). Noch weniger könnte eine nur in dem motorischen Nervenapparate entstandene „Gewöhnung“ an das Gift als glaubenswerth erscheinen, und was hätten wir gewonnen, wenn wir eine uns unklare Erscheinung mit einem Wort, das nur einen ebenso unklaren Begriff ausdrückt definiren wollten. Ich bin eben im Begriffe dieselbe Frage noch an Warmblütern einer experimentellen Prüfung zu unterwerfen und werde nicht versäumen, die erhaltenen Ergebnisse mitzutheilen.

Anhang.

Um den Einfluss des Nicotins auf das Rückenmark selbst zu prüfen, habe ich einige Versuche mit directer Reizung des Rückenmarks angestellt. Es ergab sich, dass die Nicotinwirkung der ersten Gaben und den wiederholten keinen wahrnehmbaren Unterschied in dem Verhalten des Rückenmarks hatte. Die lähmende Nicotinwirkung auf das Rückenmark ist dieselbe und verändert sich auch ebenso wie die auf die motorischen Nerven.

Versuch I.

Das Rückenmark wird vom verlängerten Mark abgetrennt und eine kleine Strecke blossgelegt. Eine Stunde nach der Operation mit feinen Elektroden gereizt. Während der Operation nur geringer Blutverlust.

Es erfolgten Bewegungen in den vorderen Extremitäten bei:

	44·5	Rollenabstand.
30^m später	41.0	„ „
1^h „	40·5	„ „

Es werden 0·1 Tropfen Nicotin eingespritzt.

10^m nach der Vergiftung	35·8	Rollenabstand.	
20 „ „ „	29·7	„ „	
30 „ „ „	20·0	„ „	Die folgenden Bewegungen sind nur sehr schwach.
40 „ „ „	17·5	„ „	
60 „ „ „	8·0	„ „	

Controlfrosch. In derselben Weise präparirt.

bei	46·0	Rollenabstand energische Bewegungen.
—^{h} 30^m später	40·5	„ „ „ „
1 — „	39·0	„ „ „ „
1 10 „	39·0	„ „ „ „
1 20 „	38·0	„ „ „ „
1 30 „	36·0	„ „ „ „
1 40 „	34·8	„ „ „ „
2 — „	35·6	„ „ „ „

Noch drei ähnliche Versuche ergaben dasselbe.

Versuch II.

Ein Frosch wurde in der oben angeführten Weise präparirt:

Zeit	Rollenabstand		
bei	48·8	Rollenabstand folgten energ. Bewegungen der Extremit.	
30^m später	45·2	„ „ „ „ „ „ „	
1^h „	41·3	„ „ „ „ „ „ „	
es werden $^1/_{20}$ Tropfen Nicotin eingespritzt und			
10^m „	43·8	„ „ „ „ „ „ „	
20 „	39·2	„ „ „ „ „ „ „	nur sehr schwache Bewegungen.
30 „	29·5	„ „ „ „ „ „ „	
40 „	27·0	„ „ „ „ „ „ „	
60 „	19·7	„ „ „ „ „ „ „	
6^h „	26	„ „ „ „ „ „ „	
9 „	30	„ „ „ „ „ „ „	
15 „	33	„ „ „ „ „ „ „	
20 „	29	„ „ „ „ „ „ „	
Es werden noch einmal $^1/_{20}$ Tropfen injicirt.			
10^m später	27·0	Rollenabstand erfolgten schwache Beweg. der Extremit.	
20 „	25·5	„ „ „ „ „ „ „	
30 „	20·0	„ „ „ „ „ „ „	
40 „	17·5	„ „ „ „ „ „ „	
60 „	15·8	„ „ „ „ „ „ „	

Controlfrosch.

Zeit	Rollenabstand	
Bei	41·5	folgten energische Bewegungen.
30^m später	40·8	„ „ „
1^h „	40·0	„ „ „
7 „	35·0	die Bewegungen sind schwächer.
10 „	31·0	„ „ „ „
15 „	30·5	„ „ „ „
20 „	28·9	„ „ „ „
22 „	28·0	„ „ „ „

Versuch III.

Ein Frosch wurde mit 0·1 Tropfen Nicotin vergiftet. Nach 50 Stunden waren keine Vergiftungserscheinungen mehr wahrzunehmen. Zehn Stunden später wurde der Frosch zum Versuche präparirt.

Es folgten energische Bewegungen der Extremitäten nach der Reizung mit tetanisirendem Strom bei 49·0 Rollenabstand.

30^m später bei 47·5 Rollenabstand
1^h „ „ 47·0 „ „

Es werden jetzt noch 0·1 Tropfen Nicotin eingespritzt.

10^m nach der Vergiftung	47.5 Rollenabstand.	
20 „ „ „	44·8 „ „	
30 „ „ „	22·5 „ „	Die Bewegungen sind schwächer.
40 „ „ „	15·6 „ „	
60 „ „ „	6·0 „ „	

Der Controlfrosch zeigte eine Abnahme der Reizbarkeit während einer Stunde auf $7 \cdot 2^{cm}$ Rollenabstand. (Anfangs 44·9 nach 60^m —37·7.)

Noch zwei ähnliche Versuche ergaben dasselbe. Das Verhalten des Rückenmarks zu wiederholten Gaben zeigt keine wahrnehmbare Unterschiede mit dem Verhalten zu den ersten Nicotingaben.

II. Katalepsie-Erscheinungen nach der Nicotinvergiftung.

Bei allen meinen an Fröschen angestellten Nicotinvergiftungen sah ich eine eigenthümliche und immer constante Erscheinung eintreten, nämlich eine ganz charakteristische Katalepsie der vorderen Extremitäten. Schon nach Gaben von 0·01 Tropfen und grösseren (auch nach wiederholten Gaben), 20—30 Minuten nach der Vergiftung, werden die Vorderbeine, während schon eingetretener allgemeiner Lähmung, steif wachsartig; man kann ihnen jede beliebige Lage geben, mag sie so aussergewöhnlich sein, wie man will, die Extremitäten behalten diese Lage so lange, bis man sie ändert. Wenn man die Vorderbeine streckt und dann den Frosch auf den Bauch legt, so biegen sich dieselben unter dem Körpergewicht nicht, sondern bleiben, wie ein Stück Holz, ausgestreckt. Die Dauer dieser Erscheinung scheint mehr von individuellen Verhältnissen, als von der Grösse der Gabe abhängig zu sein. Gewöhnlich dauert die Katalepsie von 20—45 Minuten lang. Diese Erscheinung ist so constant und so treffend, dass ich sie zur Demonstration in der Vorlesung empfehlen kann. Was nun die hinteren Extremitäten angeht, so tritt hier eine derartige Katalepsie nie ein. Durch eine kleine Zahl von Beobachtungen konnte ich mich zwar überzeugen, dass eine wahrnehmbare Steifheit in der Musculatur der hinteren Glieder eintrat, allein in den meisten Fällen fehlte dieselbe.

Die Reizbarkeit der kataleptischen Muskeln ist nicht vollständig vernichtet, jedoch weit niedriger als die aller anderen Muskeln des gelähmten Frosches. Nur sehr starke Inductionsströme sind noch im Stande,

schwache Zuckungen in den kataleptischen Vorderbeinen hervorzurufen. Die hautsensiblen Nerven bleiben dagegen in demselben Grade reizbar wie an allen anderen Hautstellen. Derselbe Strom ruft Zuckungen in den Hinterbeinen hervor wie nach der Reizung der Haut des Oberschenkels, so auch nach Reizung des Brachium oder Antibrachium.

Worin liegt der Grund dieser Erscheinung? Es ergab sich, dass sie vollkommen von dem Nervensystem unabhängig ist. Die Trennung des Grosshirns, des verlängerten Marks vom Rückenmark, endlich Zerstörung des Grosshirns, des verlängerten und des Rückenmarks bleibt, wie auf die Dauer, so auch auf die Stärke der Katalepsie ohne jeden Einfluss. Es entstehen demnach gewisse gewaltige vorübergehende Veränderungen unter der Nicotinwirkung in den Eigenschaften der Muskelsubstanz selbst. Mit Wahrscheinlichkeit sind diese Veränderungen in der Muskelelasticität zu suchen, da ich schon in anderen Arbeiten gezeigt habe, dass in der That Veränderungen unter der Wirkung von verschiedenen Alkaloïden und anderen Stoffen in der Muskelelasticität stattfinden und nachweisbar sind (B. v. Anrep, *Ueber Muskeltonus*, Rossbach und B. v. Anrep, *Ueber die Wirkung einiger Alkaloïde auf die Muskelelasticität.* Beide Arbeiten werden nächstens in Pflüger's *Archiv* u. s. w. erscheinen). Trotzdem ist es ganz auffallend, dass die Katalepsie nur allein in scharf abgegrenzten Muskelgruppen, in den vorderen Extremitäten vorkommt. Worin die Gründe dieser Verschiedenheit in dem Verhalten verschiedener Muskeln liegen, bleibt eine offene Frage.

St. Petersburg, 27. Sept. 1879.

Hochgeehrter Herr Professor!

Ich bitte Sie, im Interesse der Wissenschaft, in der von Ihnen redigirten Zeitschrift diesem Brief einen Platz einräumen zu wollen.

Im §. 81, 82 des von ihm herausgegebenen Handbuches der Physiologie, Bd. II, läugnet Hr. Hermann auf Grund sonst ganz unbekannter Untersuchungen eines Hrn. Albrecht und eines Hrn. Meyer die Richtigkeit meiner Angabe in Bezug auf die quere Erregbarkeit des Nerven,[1] und stellt wieder den alten unbewiesenen Satz von der Unerregbarkeit des Nerven in der queren Richtung auf.

Hr. Hermann macht keine Einwendungen gegen die von mir angewandten Untersuchungsmethoden, sondern erklärt mein Resultat mit der ihm eigenen Ungezwungenheit einfach dadurch, dass ich „die Lage des Nerven, bei welcher die Strömungscurven wirklich senkrecht hindurchgehen, nicht getroffen habe".

Ich muss nun erstens die Richtigkeit meiner Angabe vollständig aufrecht erhalten, und ich fordere jeden sachverständigen Forscher auf, sich davon durch den Versuch zu überzeugen, wobei freilich alle von mir angezeigten Bedingungen, namentlich die der immer gleichen Stromdichte im Nerven, auf das Strengste erfüllt sein müssen.

Woran es liegt, dass die HH. Albrecht und Meyer den Nerven in der queren Richtung unerregbar gefunden haben, kann man nicht sagen, da die von ihnen angewandten Methoden nicht mitgetheilt sind. Wahrscheinlich haben sie ihren Misserfolg irgend welchem Fehler dieser Methoden zu verdanken, ebenso wie Hr. Willy, welcher in demselben Laboratorium arbeitete und seinerseits die Unabhängigkeit der Nervenerregung von der Länge der durchströmten Strecke bewiesen zu haben glaubte. Hrn. Willy's Ergebnisse werden jetzt sogar von dem Director des Laboratoriums selbst, unter dessen Leitung er doch wohl arbeitete, als irrthümlich anerkannt.

Zweitens protestire ich überhaupt gegen eine derartige unwissenschaftliche Behandlung sogar der rein thatsächlichen Aufstellungen anderer Forscher, insbesondere in einem Werke, welches seinem ganzen Ton nach den Anspruch erhebt, das letzte Wort in diesem Gebiet der Wissenschaft zu sein.

Folgende Stelle auf S. 80, 81 desselben Werkes ist auch noch bemerkenswerth. Hier sagt Hr. Hermann, dass bei der Untersuchung der Abhängigkeit der Nervenerregung von dem Durchströmungswinkel die erste Aufgabe darin bestehe, „dass in den verglichenen Versuchen wirklich nichts weiter als der Winkel verändert werde, namentlich aber die Dichte (des Stromes) unverändert

---

[1] S. Tschirjew, Ueber die Nerven- und Muskelerregbarkeit. *Dies Archiv.* 1877. S. 525.

bleibe". Dies wird so gesagt, als gehöre dieser Gedanke Hrn. Hermann selbst. Den Gedanken hatten doch natürlich schon Sie selber gehabt, der Sie überhaupt zuerst den Begriff der Stromdichte in die elektrischen Reizversuche einführten. Aber der ganze Witz, so zu sagen, meiner Arbeit über die quere Erregung der Nerven war ja nichts anderes, als dass ich mit allen neueren Hülfsmitteln bestrebt war, bei derartigen Versuchen immer dieselbe Stromdichte im Nerven zu haben, oder überhaupt bei der Beurtheilung der Resultate dieser Versuche hauptsächlich die Stromdichte in der gereizten Nervenstrecke im Auge zu behalten. Hr. Hermann freilich hält die Aufgabe, immer dieselbe Stromdichte im Nerven zu haben, für unerfüllbar, und führt dafür folgende drei Gründe an: 1) dass der Nerv kein homogener Leiter sei, 2) dass er verschiedene Leitungsfähigkeit in Quer- und Längsrichtung habe, und 3) dass mit der Aenderung des Durchströmungswinkels im Nerven die Länge der gereizten Strecke sich ändere.

Die Ungleichartigkeit des Nerven als Leiter erlaubt uns gewiss nicht, aus unseren Reizversuchen an den Nervenstämmen einen Schluss auf die genauen quantitativen Verhältnisse zwischen Quer- und Längserregbarkeit der Primitivnervenfaser selbst zu ziehen, und ich unterscheide in meiner Abhandlung ausdrücklich diese Begriffe, wie gesammter Muskel und Primitivmuskelbündel, Nerv oder Nervenstamm und Primitivnervenfaser, beziehe auch z. B. meine Formel nur auf den Nervenstamm. Es ist aber ebenso unzweifelhaft, dass man aus derartigen Reizversuchen doch einen Schluss in Bezug auf die Erregbarkeit oder Unerregbarkeit in der queren Richtung der Primitivnervenfaser selbst ziehen kann, weil bei dem Durchströmungswinkel $= 90^0$, d. h. bei dem Einfallswinkel $= 0^0$, nach dem Kirchhoff'schen Brechungsgesetze für elektrische Ströme keine Brechung an den Hüllen der Primitivnervenfaser stattfinden kann.

Der zweite Hermann'sche Grund wird einfach durch gewisse Versuchsanordnungen, namentlich durch Bildung eines Nervenquadrats (s. meine Abh., Fig. 3) beseitigt.

Endlich beruht der dritte seiner Gründe wahrscheinlich auf einem Missverständniss, und könnte nur einen Sinn haben, wenn schon bewiesen wäre, dass die Primitivnervenfaser in querer Richtung unerregbar sei. Dann aber wäre überhaupt jeder Versuch überflüssig.

Ich beschränke mich diesmal auf diese Notiz, in der Hoffnung, dass eine ausführliche Kritik dieser Hermann'schen Muskel- und Nervenphysiologie nicht lange auf sich warten lassen wird. Eine solche Kritik ist im Interesse der Wissenschaft entschieden nothwendig, weil sonst dies Hermann'sche Werk in den Ländern, wo man sich mit diesen Fragen wenig beschäftigt, insbesondere aber in denjenigen, wo so gut wie keine wissenschaftliche Kritik im Gebiete der Naturwissenschaften existirt, eine bedeutende Verwirrung und überhaupt grossen Schaden anrichten wird.

Empfangen Sie, u. s. w.

Ihr ergebenster

Dr. S. Tschirjew.



ARCHIV

FÜR

ANATOMIE UND PHYSIOLOGIE.

FORTSETZUNG DES VON REIL, REIL u. AUTENRIETH, J. F. MECKEL, JOH. MÜLLER, REICHERT u. DU BOIS-REYMOND HERAUSGEGEBENEN ARCHIVES.

HERAUSGEGEBEN

VON

DR. WILH. HIS UND DR. WILH. BRAUNE,
PROFESSOREN DER ANATOMIE AN DER UNIVERSITÄT LEIPZIG,

UND

DR. EMIL DU BOIS-REYMOND,
PROFESSOR DER PHYSIOLOGIE AN DER UNIVERSITÄT BERLIN.

JAHRGANG 1879.

PHYSIOLOGISCHE ABTHEILUNG.

SUPPLEMENT-BAND.

MIT 19 ABBILDUNGEN IM TEXT.

LEIPZIG,
VERLAG VON VEIT & COMP.
1879.

Zu beziehen durch alle Buchhandlungen des In- und Auslandes.

(Ausgegeben am 22. December 1879.)

Inhalt.

Die Herren Mitarbeiter erhalten *vierzig* Separat-Abzüge ihrer Beiträge gratis.

Beiträge für die **anatomische Abtheilung** sind an

Professor Dr. **W. His** oder Professor Dr. **W. Braune**
in Leipzig, beide Königsstrasse 17,

Beiträge für die **physiologische Abtheilung** an

Professor Dr. **E. du Bois-Reymond**
in Berlin, N.W., Neue Wilhelmstrasse 15,

portofrei einzusenden. — **Zeichnungen** zu Tafeln oder zu Holzschnitten sind auf **vom Manuscript getrennten** Blättern beizulegen. Bestehen die Zeichnungen zu Tafeln aus einzelnen Abschnitten, so ist, **unter Berücksichtigung** der Formatverhältnisse des Archives, denselben eine **Zusammenstellung,** die dem Kupferstecher oder Lithographen als Vorlage dienen kann, beizufügen.

Druck von Metzger & Wittig in Leipzig.

